

Untersuchung einer speziellen Sehhilfe für bedürftige Menschen in Entwicklungsländern

Bachelorthesis

im Studiengang Augenoptik
der
Hochschule Aalen



Vorgelegt von
Marvin Schott

Erstprüferin: Prof. Dr. Ulrike Paffrath
Zweitprüfer: Dr. Winfried Angele

Aalen, März 2011

Abstract

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung einer Sehhilfe (Focusspec) der Stiftung Focus-on-Vision die zur Korrektur verschiedener Fehlsichtigkeiten entwickelt wurde. Die möglichen Korrektionsbereiche sollen erfasst und bewertet werden.

In einer Untersuchungsreihe werden Probanden im Umgang mit der Focusspec-Brille unterwiesen und im Anschluss daran auf ihre Sehschärfe überprüft. Erfasst werden die Sehschärfe ohne Hilfsmittel, die Sehschärfe mit der Focusspec nachdem diese durch die Probanden selbstständig eingestellt wurde und die Sehschärfe nach einer subjektiven Refraktion.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Focusspec Brille sehr gut geeignet ist, ametropen Menschen zu einem besseren Sehen zu verhelfen. Die durchschnittliche Visussteigerung beträgt nur zwei Stufen weniger als die Visussteigerung nach einer subjektiven Refraktion. Menschen mit geringen oder sehr starken Ametropien kann nicht generell geholfen werden, da die Einstellmöglichkeiten der Brille begrenzt sind. Sogar eine Verwendung in Industrieländern wäre nach einigen Verbesserungen ebenfalls möglich.

Inhalt

Abstract	I
1 Einleitung.....	1
2 Theoretische Grundlagen.....	3
2.1 Alvarez-Linsen	3
2.2 Humphrey-Linsen.....	10
2.3 Focusspec-Brillen	13
2.3.1 Brillengläser	14
2.3.2 Fassung	15
2.3.3 Funktionsweise der Focusspec-Brillen	16
3 Messungen	20
3.1 Geräte	20
3.2 Messanordnung	20
3.3 Probanden.....	21
3.4 Durchführung der Messungen	21
3.4.1 Vorstellung der Focusspec-Brille	22
3.4.2 Einstellvorgang und Visusprüfung mit der Focusspec-Brille	22
3.4.3 Subjektive Refraktion	22
3.4.4 Visusprüfung ohne Korrektion.....	23

4	Auswertung	24
4.1	Alter	24
4.2	Visus	28
4.3	Ametropien	34
4.3.1	Sphäre	37
4.3.2	Astigmatismus	38
4.3.3	BSG	40
4.4	Korrektionsbereich der Focusspec-Brille	42
5	Diskussion	47
6	Fazit	49
	Anhang	50
6.1	Abbildungsverzeichnis	50
6.2	Tabellenverzeichnis	52
6.3	Formelverzeichnis	52
6.4	Abkürzungsverzeichnis	53
6.5	Literaturverzeichnis	53
6.6	Danksagung	55
6.7	Eidesstattliche Erklärung	56

1 Einleitung

Circa 63% der erwachsenen Deutschen sind fehlsichtig. Auf eine Weltbevölkerungszahl von 6,93 Milliarden Menschen hochgerechnet ergibt sich die ungeheure Zahl von 4,36 Milliarden Fehlsichtigen weltweit. Hiervon lebt der größte Teil in Ländern deren Entwicklungsstand nicht mit dem in den meisten Industrieländern vergleichbar ist. Während in den so genannten Industrienationen die Diagnose einer Fehlsichtigkeit bereits innerhalb der ersten Lebensjahre erfolgt und daraufhin eine Versorgung selbstverständlich ist, haben Menschen in weniger weit entwickelten Ländern dieses Glück nicht.

Das Preisniveau für eine einfache Einstärkenbrille, mit der dem größten Teil der Fehlsichtigen geholfen werden könnte, liegt bereits so hoch, dass es für Menschen in Entwicklungsländern schlicht und ergreifend nicht finanzierbar ist eine solche Sehhilfe zu erwerben.

Versuche mit Brillenrecycling, also dem Aufbereiten von getragenen, gesammelten Brillen und deren anschließendes versenden in Entwicklungsländer, ist ein Anfang diesem Missstand zu begegnen, was jedoch auf Grund des immensen Aufwandes und der Komplexität der Fehlsichtigkeiten nur wenig oder nur begrenzten Erfolg verspricht.

Den betroffenen Menschen bleibt also kaum eine andere Wahl als sich mit ihrer vorhandenen Sehschärfe abzufinden.

Um der Problematik zu begegnen hat die niederländische Stiftung „Focus-on-Vision“ eine Brille entwickelt die ihre Korrektionswirkung verändern kann. Der Träger kann die Brille somit selbst auf seine Augen, bzw. seine Fehlsichtigkeit einstellen und im Anschluss daran – im besten Fall – scharf sehen.

Da die gesamte Peripherie der Brillenanpassung wie z.B. Optiker, Glashersteller, etc. fehlen, sowie die Herstellungskosten durch eine große Produktionsmenge reduziert werden, wird diese Brille namens „Focusspec“ im Vergleich zur normalen Korrektionsbrille sehr günstig, somit auch für Menschen in Entwicklungsländern erschwinglich und dadurch interessant.

Bleibt die Frage ob diese Brille auch hält was sie verspricht. Es gibt viele verschiedene Menschen und damit genauso viele unterschiedliche Fehlsichtigkeiten, die alle mit dieser einen Brille versorgt werden sollen und die Träger sollen im Anschluss an die Versorgung scharf sehen können.

Zudem muss die Brille vom Träger akzeptiert werden. Sie sollte also sowohl optisch ansprechend aussehen als auch haptische Faktoren wie beispielsweise einen guten Sitz oder eine Anpassung an die anatomischen Gegebenheiten des Trägers berücksichtigen.

Die vorliegende Bachelorthesis widmet sich der Untersuchung dieser Focusspec-Brille und entwickelt eine Aussage bezüglich ihrer Qualität bzw. ihrer Fähigkeit zur optischen Korrektur sowie zu den möglichen Einsatzgebieten.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Alvarez-Linsen

Den amerikanischen Physiker Luis Walter Alvarez (* 13.06.1911; † 01.11.1988) störten die in den 79er Jahren des vorigen Jahrhunderts gebräuchlichen Hilfsmittel bei zunehmender Presbyopie. Die damals verwendeten Bifokalbrillen sagten ihm in Form und Funktion nicht zu, woraufhin er sich an die Entwicklung variabler Linsen machte.

Alvarez sichtete zunächst die Ergebnisse anderer Forscher die sich schon Jahre zuvor Gedanken über die Problematik gemacht hatten. Diese setzten jedoch hauptsächlich auf mit kristallinen Flüssigkeiten gefüllte Kunststofftaschen zur Nachahmung der menschlichen Augenlinse – einer nach Alvarez Verständnis ungeeigneten Lösung. Ihm schwebte ein System aus zwei sich gegeneinander, in rechten Winkeln zur optischen Achse, verschiebbaren Linsen vor.

Die Idee hatten schon einige Forscher vor ihm, jedoch funktionierte keine der Lösungen zufriedenstellend. Alvarez erkannte, dass es nur eine korrekte Form der Linse gibt mit der eine Änderung der Sphäre durch Verschiebung möglich ist.

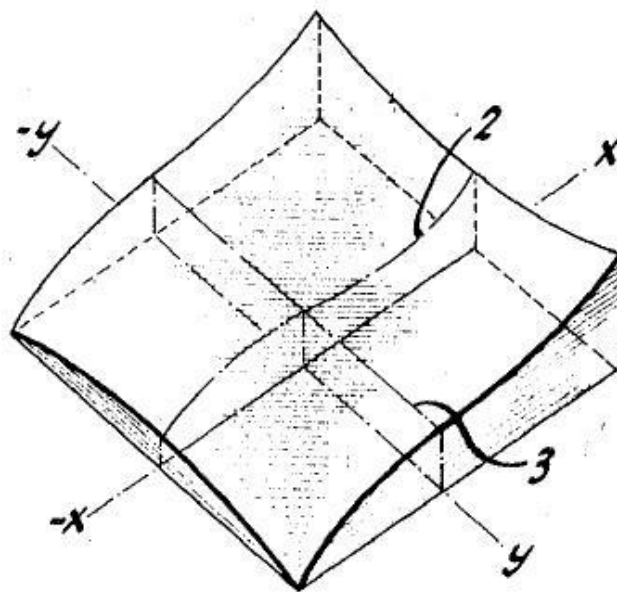


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Alvarez-Linse, vergrößert; [2], bearbeitet

Wie auf Abb. 1 zu erkennen ist, handelt es sich um eine Linse, mit über ihre Gesamtfläche gesehen, unterschiedlicher Dicke. Der Schnittpunkt der Ebenen 2 und 3 ist die optische Achse der Linse. Auf dieser basiert das zur Verschiebung benötigte Koordinatensystem.

Die x-Achse dieses Koordinatensystems wird durch Ebene 2 dargestellt, wobei die Werte in Richtung rechts oben positiv (x) bzw. in entgegengesetzte Richtung negativ (-x) werden. Die y-Achse wird durch Ebene 3 dargestellt, in der die Werte in Richtung unten rechts positiv (y), bzw. entgegengesetzt negativ (-y) werden. Somit ist ein Koordinatensystem entwickelt, in dem die Werte x und y die jeweilige Distanz eines bestimmten Punktes zum Ursprungspunkt, also der optischen Achse, angeben und sich gleichzeitig die dioptrischen Werte ändern (vgl. Abb.1).

Alvarez zentrale Überlegung orientiert sich an der Dicke der Linse, sie berechnet sich mit folgender Formel (Formel 1):

$$t = A \left(xy^2 + \frac{1}{3}x^3 \right) + E$$

Formel 1: Dicke an einem bestimmten Punkt

t= optische Dicke am Punkt (x/y)

A= Stärkenänderung begrenzende Konstante

x= Wert auf der x-Achse

y= Wert auf der y-Achse

E= Konstante für die Dicke des Linsenelementes an der optischen Achse

E wird nach der mechanischen Stabilität der Linse und so dünn wie möglich gewählt.

Wie auf Abb. 1 zu erkennen ändert sich die Dicke des Linsenelementes bei x=0 nicht. Bei y=0 verhält sich die Dicke proportional zu x³.

Alvarez berechnete seine Linsen bzw. das Linsensystem unter der Annahme dünner Linsen, welche besagt, dass die Brechung des Lichtes in der

Linsenmitte stattfindet und nicht wie üblich an zwei Stellen, nämlich beim Ein- und Austritt des Lichtes aus der Linse. Dies setzt ein homogenes Material mit einem gleich bleibenden Brechungsindex voraus.

Die Form der Linse, also ob die Rückseite plan, sphärisch oder in einer sonstigen Form gefertigt ist spielt keine Rolle, sofern die Vorderseite entsprechend angepasst wird und die optische Dicke bzw. deren Änderung gewahrt bleiben. Die Linse kann aus Glas, Kunststoff oder anderen Materialien, die sich zum Fertigen von Linsen eignen, hergestellt werden. Die Oberflächen sollten poliert werden.

Einen limitierenden Faktor stellt die Steilheit der Oberflächen dar, diese dürfen nicht so steil sein, dass Totalreflexion entsteht. Als Faustregel kann hier die Hälfte der Linsenbreite angenommen werden, was ca. 30-40 Grad entspricht.

Da eine Veränderung der Stärke nur über eine Verschiebung von zwei Linsen gegeneinander zu bewerkstelligen ist, müssen zwei der oben beschriebenen Linsen aufeinander gelegt werden. Hierbei wird eine Linse um 180 Grad zur Anderen verdreht, so dass am Ende ein Linsensystem wie in Abb. 2 entsteht.

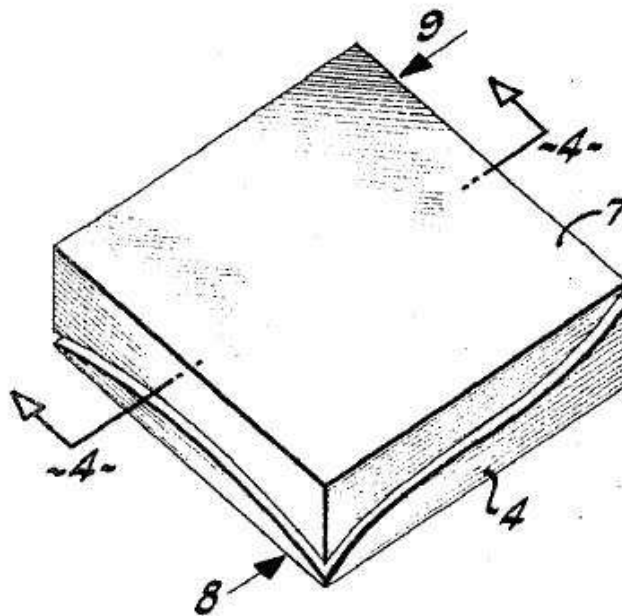


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus zwei Alvarez-Linsen, vergrößert;
[2], bearbeitet

Die Kurven der beiden Linsen passen exakt aufeinander, so dass in der Nullstellung, also wenn die optischen Achsen der Linsen aufeinander liegen, keinerlei Wirkung messbar ist. Dies verdeutlicht Abb. 3 die den Querschnitt ~4~ in Abb. 2 darstellt.

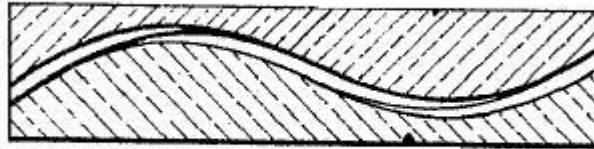


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus zwei Alvarez-Linsen, seitlich, vergrößert; Schnitt ~4~ aus Abb. 2; [2], bearbeitet

Die optische Dicke ist über die gesamte Fläche eine Konstante, somit ist das Linsensystem in Nullstellung optisch einer Planplatte gleich.

In der Praxis sollte zwischen den Linsen ein kleiner Spalt sein, damit sie sich gegeneinander bewegen können und so die Stärke des Linsensystems geändert werden kann. Dieser Spalt sollte so klein wie möglich gewählt werden, da ansonsten die Gesamtdicke größer wird, sowie die Homogenität des Materials nicht mehr gegeben ist, und die Annahme dünner Linsen verletzt werden könnte.

Die Dicken der Einzellinsen ergeben sich aus folgenden Gleichungen, wobei die erste Linse die ist, die als erste vom Lichtstrahl getroffen wird (Formel 2 und 3):

$$t_1 = A \cdot \left(xy^2 + \frac{1}{3}x^3 \right) + Dx + E$$

Formel 2: Dicke der ersten Alvarez-Linse an einem bestimmten Punkt vor der Verschiebung

t_1 = Dicke der ersten Linse

Dx = Koeffizient zur Dickenminimierung

$$t_2 = -A \cdot \left(xy^2 + \frac{1}{3}x^3 \right) - Dx + E$$

Formel 3: Dicke der zweiten Alvarez-Linse an einem bestimmten Punkt vor der Verschiebung

t_2 = Dicke der zweiten Linse

Dx gibt einen Koeffizient zur Minimierung der Linsendicke an. Dieser wird benötigt um die Aushöhlung der Linse zu berechnen. Ohne diesen Koeffizienten würde ein Prisma berechnet werden. Abgesehen hiervon sind die Formeln identisch mit Formel 1. Die unterschiedlichen Vorzeichen sind durch die Lichtrichtung bedingt.

Wird nun eine Verschiebung der Linsen durchgeführt (in Richtung der Pfeile 8 und 9 in den Abb. 2 und 4), so verändert sich die Stellung der optischen Achsen zueinander. Dies wird auf einem stationären Koordinatengitter festgehalten, so dass jeweils ein Wert für die Verschiebung der Linsen in x- bzw. y-Richtung gegeben ist. Hierbei ist es egal ob lediglich eine Linse oder beide Linsen gleichmäßig verschoben werden.



Abb. 4: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus Alvarez-Linsen in verschobener Position, seitlich, vergrößert; [2], bearbeitet

Eine Verschiebung beider Linsen gegeneinander entlang der x-Achse hat im Vergleich zur Verschiebung nur einer Linse den Vorteil, dass sich die Strecke, um die die Linsen verschoben werden müssen, halbiert. Somit ist der Einsatz dieser Technik, auf Grund des begrenzten Raumes, in Korrektionsbrillen sinnvoll.

Die Dicken der jeweiligen Einzellinsen nach der Verschiebung ergeben sich aus folgenden Gleichungen, wobei die erste Linse diese ist, die als erste vom Lichtstrahl getroffen wird (Formel 4 und 5), mit $x=d-X$:

$$t_a = A (X - d) Y^2 + \frac{1}{3} A (X - d)^3 + D (X - d) + E$$

Formel 4: Dicke der ersten Alvarez-Linse des Linsensystems an bestimmtem Punkt nach der Verschiebung

t_a = Dicke der ersten Linse nach der Verschiebung

D = eventuelle Rotation der oberen Linse zur unteren

d = Strecke die jede Linse entlang der x-Achse bewegt wird

X = Wert auf der X-Achse

Y = Wert auf der Y-Achse

$$t_b = -A (X + d) Y^2 - \frac{1}{3} A (X + d)^3 - D (X + d) + E$$

Formel 5: Dicke der zweiten Alvarez-Linse des Linsensystems an bestimmtem Punkt nach der Verschiebung

t_b = Dicke der zweiten Linse nach der Verschiebung

Für das Linsensystem mit zwei beweglichen Linsen ergibt sich dann folgende Formel (Formel 6):

$$t_g = t_a + t_b = -2Ad (X^2 + Y^2) - \frac{2}{3} Ad^3 - 2Dd + 2E$$

Formel 6: Dicke des Linsensystems nach der Verschiebung an einem bestimmten Punkt

t_g = Gesamtdicke des Linsensystems

Alvarez machte sich, seiner ursprünglichen Idee folgend, Gedanken zur Umsetzung seiner Idee in Brillenfassungen. Hierbei erkannte er, dass hauptsächlich die Brillenfassung eine Limitierung des Wirkungsbereiches seiner Linsen darstellt.

Der abzudeckende Korrektionsbereich muss so gewählt werden, dass die kosmetischen Anforderungen, die an Brillenfassungen gestellt werden, zumindest einigermaßen eingehalten werden. Würde der Korrektionsbereich größtmöglich gewählt, wäre die Fassung so groß, dass sie aus kosmetischen Gründen nicht mehr akzeptiert würde. Alvarez setzte die maximal benötigte Stärkenänderung auf 3 dpt. fest, was seiner Angabe nach 90% aller Bifokal-Brillenträgern entspricht.

Des Weiteren passte er die Form der Linsen an die gebräuchlichen Fassungen, bzw. Brillengläser an, so dass kein großer Unterschied zwischen bestehenden und neuartigen Brillengläsern sichtbar war.



Abb. 5: Schematische Darstellung eines Brillenglasses mit Alvarez-Linsensystem, seitlich, vergrößert; [2], bearbeitet

Die heute noch gebräuchliche Doppelmeniskus-Form ist in Abb. 5 gut zu erkennen. Alvarez verband die beiden Linsen mit Hilfe zweier Metallbänder 13 und 14, die über zwei Wellen 15 und 16 bewegt werden konnten, und so eine Verschiebung der Linsen entlang der vertikal verlaufenden x-Achse gewährleisten.

Zudem erkannte Alvarez, dass man zusätzlich zu seinen variablen Linsen noch weitere Linsen mit definierter Wirkung in die Brille einbauen könne. Hierdurch wäre man in der Lage die normale Fernkorrektur mit bestimmten Brillengläsern einzubauen und zusätzlich seine variablen Linsensysteme zur Einstellung auf die gewünschte Entfernung zu nutzen.

Ein weiterer Punkt den Alvarez schon damals erkannte war, dass seine Linsen durch entsprechend vereinfachte Produktionsverfahren relativ günstig und in großen Stückzahlen herstellbar sind. Er erkannte den Nutzen für Entwicklungsländer und entwickelte die Idee seine Gläser in Massen zu produzieren und sie in die entsprechenden Länder zu schicken, so dass die Menschen sie dort entsprechend der benötigten Stärken in Brillen einbauen können. Dies jedoch unter dem Gesichtspunkt der Presbyopiekorrektur, für die er die Linsen entwickelte. Dabei sollten die Linsen nach ihrer Ausrichtung zueinander zusammen geklebt werden oder aber gerandet und in Fassungen eingebaut werden.

[1], [2], [3]

2.2 Humphrey-Linsen

Aufbauend auf die Ergebnisse seines Lehrers Alvarez, hat der amerikanische Physiker William E. Humphrey variable Linsen entwickelt, die neben einer variablen sphärischen Wirkung auch eine variable zylindrische Wirkung herbeiführen können. Diese Linsen sind, aufbauend auf die sphärischen Linsen von Alvarez, in Form und Funktionsweise denen von Alvarez ähnlich (vgl. Abb. 6) und ebenfalls für die Verwendung in Brillen geeignet.

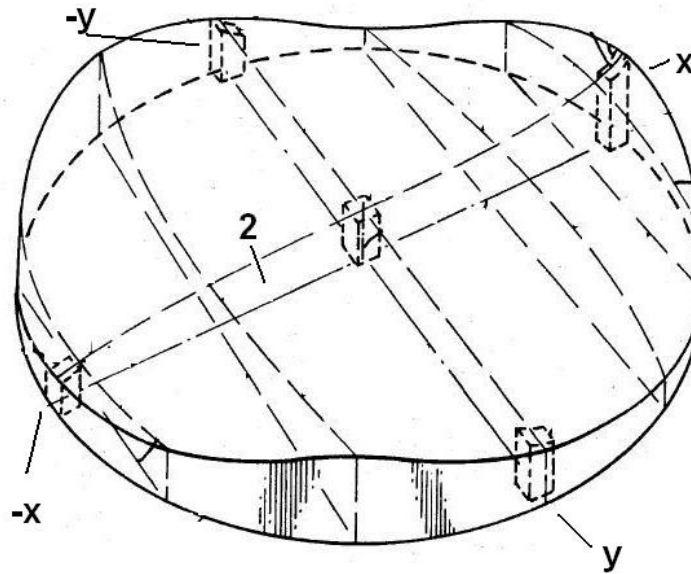


Abb. 6: Schematische Darstellung einer Humphrey-Linse, vergrößert; [7], bearbeitet

Es ist zu erkennen, dass die Form der Oberfläche im Vergleich zu einer Alvarez-Linse in Abb. 1 gewisse Unterschiede aufweist. Bei den Humphrey-Linsen ist die Oberflächengeometrie nahezu umgekehrt zur Oberflächengeometrie der Alvarez-Linsen. So wird zwar bei Alvarez (vgl. Abb. 1) sowie Humphrey (vgl. Abb. 6) die Dicke der Linse auf Ebene 2 nach rechts größer (x) und nach links kleiner ($-x$), die Humphrey-Linsen werden jedoch im Bereich in dem x positiv ist nach außen hin dünner und somit weniger wirksam. Bei Alvarez werden die Linsen in diesem Bereich dicker, also wirkungsvoller (vgl. Abb. 1). Im y -Bereich ist es genauso, während die Linsen von Humphrey an Dicke zunehmen und somit wirksamer werden, nehmen die von Alvarez an Dicke und Wirkung ab.

[2], [3], [7]

Dieser Unterschied fällt allerdings nur dann ins Gewicht, wenn die Linsen einzeln verwendet werden. Bei der Verwendung im Linsensystem neutralisieren sich die beiden exakt gleich geformten Oberflächen gegenseitig sobald sie in der Neutralposition, in der beide optische Achsen aufeinander liegen, sind.

Das Linsensystem wird mit beiden Varianten identisch aufgebaut und besteht aus zwei identischen Linsen, die um 180° verdreht aufeinander gelegt werden (vgl. Abb. 7).

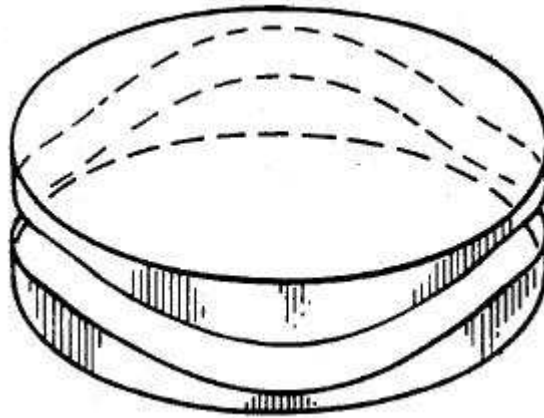


Abb. 7: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus Humphrey-Linsen, vergrößert; [7], bearbeitet

Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Linsensystemen besteht darin, dass die Humphrey-Linsen nach dem Einstellvorgang fixiert werden müssen um eine dauerhafte Korrektur zu erreichen.

Es ist also im Gegensatz zu den Alvarez-Linsen nicht möglich die Stärke während dem Tragen anzupassen, da in diesem Falle die Verschiebung der Linsen gegeneinander zu kompliziert ist. Es muss neben den sphärischen Werten auch die zylindrische Korrektur bzw. die korrekte Achslage eingehalten werden, wodurch der Einstellvorgang zur Verwendung in Brillen zu komplex und mechanisch kaum oder nur mit immensem Aufwand zu realisieren ist.

Ein Anwendungsbeispiel für die Verwendung von Humphrey-Linsen ist z.B. der Humphrey-Vision-Analyzer, ein Gerät zur subjektiven bzw. zur automatischen Refraktion. Der größte Vorteil dieses Gerätes ist, dass es die bei Autorefraktometern übliche Instrumentenmyopie, also die Tendenz zur Akkommodation während in ein Okular geschaut wird, ausschließt.

Wird das Gerät im herkömmlichen Sinne zur Refraktion verwendet, bietet es den Vorteil, dass sich keine störenden Elemente, wie z.B. die Messbrille oder Probegläser, zwischen Patient und Sehzeichen befinden. Dieses Prinzip nannte Humphrey „remote refraction“ (vgl. [9], S. 18, 23.)

Eine Verwendung in Sehhilfen könnten die Linsen dennoch finden. Hierzu müsste das Linsensystem lediglich so eingestellt werden, dass die gewünschte

Stärke resultiert und im Anschluss entweder gekittet oder gerandet wird, so dass eine Verschiebung der Linsen zueinander ausgeschlossen werden kann.

[6], [8], [10], [12]

Generell lässt sich sagen, dass die variablen Linsen auch im präzisionsoptischen Bereich einer Renaissance entgegensehen, da die Herstellung mit Hilfe moderner CNC-Technik wesentlich vereinfacht worden ist. So können mittlerweile auch hochwertige optische Materialien mit der gewünschten Kurve versehen werden.

[4]

2.3 Focusspec-Brillen

Die von der niederländischen Stiftung Focus-on-Vision entwickelten und vertriebenen Focusspec-Brillen verwenden das unter 3.1 behandelte Verfahren nach Alvarez. Es wurde von Frederik van Asbeck weiterentwickelt und auf die Focusspec-Brille angepasst. Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung der Brillen wurde auf Funktionalität sowie Einfachheit gelegt, so dass jeder Benutzer sich schnell auf die Bedienung einstellen kann und somit rasch zu einem zufrieden stellenden Ergebnis findet.

Zudem ist durch die einfache Gestaltung der Brillen eine Verwendung von Standardteilen möglich, wodurch die Fertigungskosten niedrig gehalten werden können. Es ist möglich eine solche Focusspec-Brille relativ günstig herzustellen, was der Kaufkraft der Menschen in den geplanten Verwendungsgebieten entgegenkommt. Die Brillen sollen für ca. 3-5\$ auf den Markt kommen, so dass sie einen Wert für die Menschen darstellen und nicht direkt weiterverkauft werden.

[11]

Durch den Umstand, dass die Brillenfassungen auf Grund ihrer Größe lediglich eine begrenzte Verschiebung der Linsen zueinander zulassen gibt es jeweils eine Focusspec-Brille für Myope sowie Hyperope. Hierbei unterscheiden sich die Brillen lediglich durch die Form bzw. Kurve der verwendeten Linsen, die Einstellmechanik der Brillen ist in beiden Varianten gleich.

2.3.1 Brillengläser



Abb. 8: Linsenpaar Focusspec-Brille, rechtes Auge, Variante für Hyperope

A= Führungszapfen

B= Führungskanal

Die in der Focusspec-Brille verwendeten Kunststofflinsen sind so geformt, dass sie durch eine Verschiebung entlang der horizontal verlaufenden Achse eine Stärkenänderung bewirken. Wie in Abb. 8 zu sehen, sind die Linsen so geformt, dass sie einen Führungszapfen *A*, sowie einen Führungskanal *B* besitzen, mit deren Hilfe die Einstellung der Stärke, über die an der Fassung angebrachten Einstellrädchen, möglich ist.

In die Fassung eingesetzt ergibt sich somit eine Führung durch die eine gleich bleibende und reproduzierbare Verschiebung der Linsen möglich ist.



Abb. 9: Fassung Focusspec-Brille mit Linsen

Die Führungszapfen *A* der beiden Linsen liegen in den jeweiligen Führungskanälen der Fassung, der Führungszapfen der Fassung liegt im Führungskanal *B* der Linse (vgl. Abb. 9).

Die Linsen sind so geformt, dass sie lediglich am Rand übereinander gleiten. In der Mitte berühren sie sich bei normalem Gebrauch nicht.

2.3.2 Fassung

Die Fassung der Focusspec-Brille ist aus Kunststoff gefertigt, sie ist in verschiedenen Farben lieferbar und umschließt das gesamte Linsensystem. Die Linsen sind nicht erreichbar ohne die Brille zu zerstören.

Die Brillenfassung ist entsprechend dem Ziel, eine Universalbrille für möglichst viele verschiedene Menschen zu entwickeln, gefertigt. Es sind keinerlei Anpassungen an Kopfform oder Körperhaltung möglich. Die Auflagefläche auf der Nase ist angedeutet, jedoch ebenfalls nicht veränderbar. Die Bügel sind als Steckbügel gefertigt, so dass keine Anpassung an die Ohren des Trägers nötig ist.

Durch den verwendeten Kunststoff ist die gesamte Brille sehr leicht und angenehm zu tragen.

2.3.3 Funktionsweise der Focusspec-Brillen

An jeder Backe gibt es ein Einstellrad C über das die Verschiebung der Linsen in horizontaler Richtung gesteuert werden kann. Abhängig von der Drehrichtung des Einstellrades verschiebt sich die Linse in horizontaler Richtung und die Stärke verändert sich in Richtung Plus oder Minus.



Abb. 10: Fassung Focusspec-Brille

C= Einstellrad

Durch die Drehbewegungen des Einstellrades C überträgt sich die Bewegung auf das Kunststoffteil D, welches dadurch über eine Führung in vertikaler Richtung verschoben wird (vgl. Abb.10).

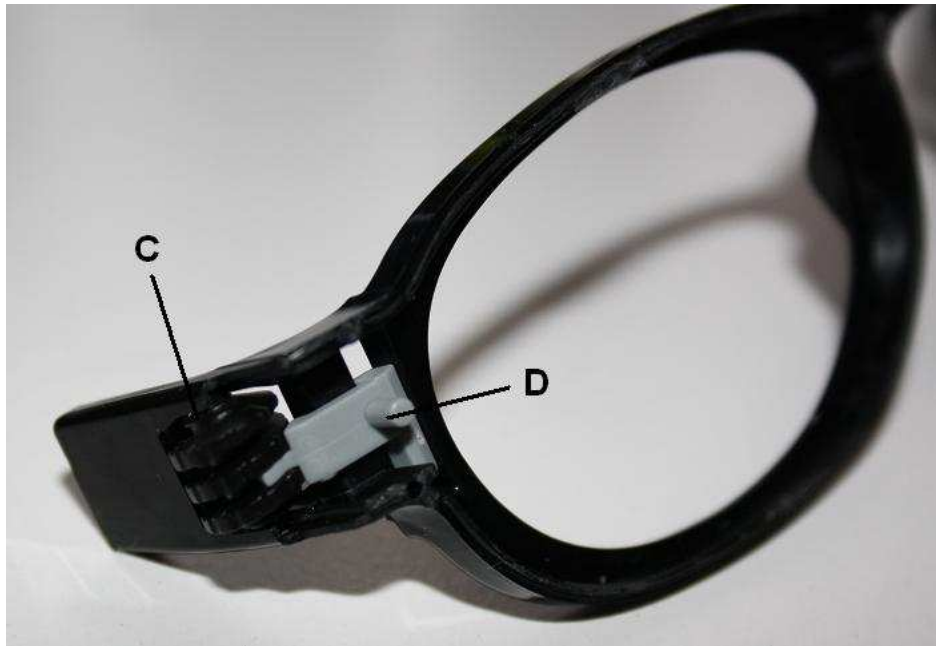


Abb. 11: Focusspec-Brille, Einstellmechanismus

D= Kunststoffteil zur Steuerung der Verschiebung

Die vertikale Bewegung ist durch die Fassung limitiert, der Kanal in dem das Kunststoffteil läuft ist durch die Brillenfassung begrenzt (vgl. Abb. 12 und 13).



Abb. 12: Focusspec-Brille, Einstellmechanismus Auslenkung unten



Abb. 13: Focusspec-Brille, Einstellmechanismus Auslenkung oben

Über die Bewegung des Kunststoffteils *D* wird letztendlich die Verschiebung der Linsen gegeneinander gesteuert. Die Führungskanäle sind im Vergleich der beiden Einzellinsen des Linsensystems zueinander um ca. 45° verdreht, wodurch die Verschiebung der Linsen bewirkt wird (vgl. Abb. 14).



Abb. 14: Focusspec-Brille, Verschiebung der Linsen, Auslenkung oben



Abb. 15: Focusspec-Brille, Verschiebung der Linsen, Auslenkung unten

Der an *D* angebrachte Führungszapfen rastet im Führungskanal *B* der Linsen ein. Durch die vertikale Bewegung des Teils *D* und den in ca. 45° zur Horizontale angebrachten Führungskanälen *B* wird eine Verschiebung der beiden Linsen gegeneinander bewirkt. Durch die entgegengesetzte Verdrehung der Führungskanäle zur Vertikalen wird eine exakt gleichmäßige Verschiebung der Linsen gegeneinander gewährleistet. Somit ist die zu verschiebende Strecke der Linsen, einen angestrebten Korrektionswert zu erreichen, halbiert.

Diese Verschiebung ist bei genauer Betrachtung der Abbildungen 14 und 15 zu erkennen. Die vordere Linse 1 auf Abbildung 14 liegt weiter links als auf Abbildung 15. Die hintere Linse 2 liegt entsprechend auf Abb. 15 weiter links als auf Abb. 14.

Die maximale Verschiebung der Linsen in horizontaler Richtung beträgt ca. 3,5 mm.

3 Messungen

Die Messungen, die Messanordnung sowie die dazu verwendeten Geräte werden, ebenso wie die Probandengruppe, im folgenden Abschnitt vorgestellt.

3.1 Geräte

Zur Durchführung der Messungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Universal-Messbrille; Oculus
- Sehzeichenprojektor CP-50; Seriennr.: 98070713; bon Optic
- Focusspec-Brille; Variante für Myope und Hyperope; Focus-on-Vision

3.2 Messanordnung

Die Messungen wurden mit folgender, auf Abbildung 16 erkennbarer, Messanordnung durchgeführt.

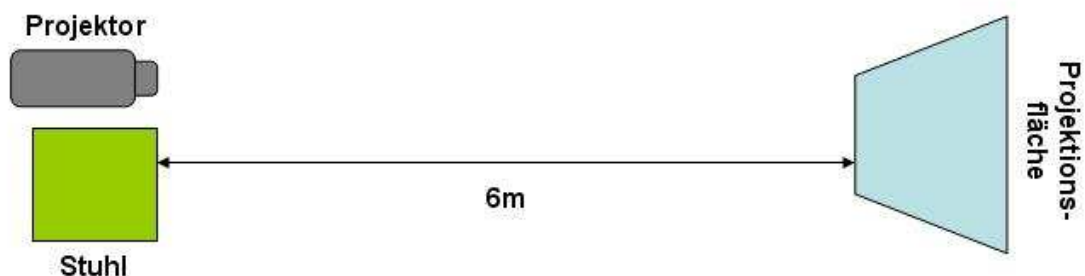


Abb. 16: Messanordnung, schematische Darstellung

Der Proband sitzt auf dem Stuhl in einer Entfernung von 6 Metern zur Projektionsfläche auf der mit Hilfe des Sehzeichenprojektors die gewünschten Sehzeichen projiziert werden. Um eine gleichbleibende Mitarbeit der Probanden zu gewährleisten wurden als Sehzeichen Buchstaben verwendet.

3.3 Probanden

Zur Erhebung der Messdaten wurden, über einen Zeitraum von 3 Wochen, 91 Patienten der Augenarztpraxis Dr. Angele sowie 10 Studenten der Hochschule Aalen untersucht. Diese Personengruppen wurden zunächst über den Zweck und die Art der Durchführung der Messung unterrichtet und im Anschluss daran um ihr Einverständnis zur Erhebung der personenbezogenen Daten gebeten. Hierbei wurde das Geburtsdatum sowie die Initialen erfasst, so dass bei eventuellen Unstimmigkeiten über das Patientenverwaltungssystem der Praxis eine Überprüfung der Daten durchgeführt werden kann. Diese Überprüfung ist bei den 10 Studenten der Hochschule nicht möglich.

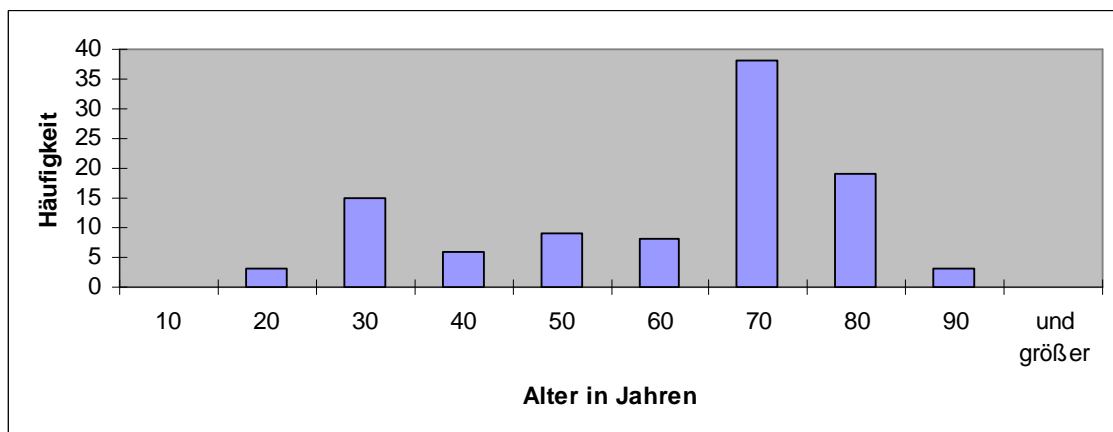


Abb. 17: Altersverteilung der Probandengruppe

Wie in Abbildung 17 zu erkennen liegt der Großteil der Probandengruppe in einem Altersbereich zwischen 70 und 90 Jahren. Das Durchschnittsalter der Probandengruppe liegt bei 56,47 Jahren ($\sigma=18,89$).

3.4 Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden immer nach dem gleichen Schema durchgeführt. Nachdem die Probanden die Focusspec-Brille vorgestellt bekommen und ausprobiert haben, wurde die Brille durch den Probanden selbst eingestellt und im Anschluss daran die Messungen der Visi durchgeführt. Die genauen Untersuchungsabläufe sind im Folgenden genauer erklärt.

3.4.1 Vorstellung der Focusspec-Brille

Zunächst wurde den Probanden die Focusspec-Brille vorgestellt und die Funktionen bzw. Einstellmöglichkeiten der Brille erläutert. Diese wurden von den Untersuchungsteilnehmern ausprobiert damit sichergestellt war, dass der darauf folgende Einstellvorgang optimal durchgeführt werden konnte.

3.4.2 Einstellvorgang und Visusprüfung mit der Focusspec-Brille

Nach der Erklärung und Unterweisung wurde die Focusspec-Brille aufgesetzt und vom Untersuchungsteilnehmer selbstständig eingestellt. Hierbei wurden zunächst monokulare Bedingungen geschaffen, indem ein Auge mittels eines Abdeckers zugehalten wurde. Während des Einstellvorgangs wurden die angebotenen Optotypen, ähnlich wie bei einer normalen subjektiven Refraktion, vom Untersucher kontinuierlich verkleinert bis der Proband weniger als die Hälfte (weniger als 3 aus 5 Optotypen) erkannt hat. Nach Einstellung und Visusprüfung des ersten Auges wurde beim zweiten Auge genauso verfahren.

Im Anschluss an die monokulare Einstellung und Sehschärfenmessung mit der Focusspec-Brille (Vcc Focusspec) wurde die Untersuchung binokular durchgeführt. Hierbei wurde zunächst die zuvor durchgeführte Einstellung der Brille beibehalten und die Sehschärfe überprüft. Im Anschluss daran sollten die Probanden die Brille nochmals verstellen um eventuelle Verbesserungen aufzudecken.

3.4.3 Subjektive Refraktion

Nachdem die Visusüberprüfung der Untersuchungsteilnehmer mit der Focusspec-Brille abgeschlossen war, wurde eine subjektive Refraktion mit anschließender Visusmessung (Vcc Refraktion) durchgeführt. Hierbei wurde die Kreuzzylinder-Methode verwendet. Die Messung der Sehschärfe erfolgte wie zuvor zunächst monokular, danach binokular. Zur besseren Vergleichbarkeit der Daten wurde nach der Refraktion bewusst auf einen Binokularabgleich verzichtet, da die Messreihe mit der Focusspec-Brille diese Option nicht zuließ. Eine Trennung der Seheindrücke wäre nur sehr schwer über die gesamte Probandengruppe gleichmäßig durchführbar gewesen und hätte sich nur durch Vorhalter mit entsprechenden Gläsern realisieren lassen. Da die Reproduzierbarkeit hierbei jedoch fraglich ist, wurde auf den Binokularabgleich verzichtet.

3.4.4 Visusprüfung ohne Korrektion

Nachdem die maximal erreichbare Sehschärfe der Probanden mit Hilfe der Focusspec-Brille und nach der subjektiven Refraktion gemessen war, wurde eine Visusmessung ohne jegliche Korrektion durchgeführt um den Ausgangspunkt der Sehschärfe (V_{sc}) des Untersuchungsteilnehmers zu bestimmen. Diese wurde, wie die Messungen zuvor, zunächst monokular und im Anschluss binokular durchgeführt. Zur monokularen Messung wurde, wie in den vorangegangenen Messungen, zunächst ein Auge mittels eines Abdeckers vom Sehprozess ausgeschlossen und der Visus ermittelt. Im Anschluss wurde mit dem anderen Auge genauso verfahren.

4 Auswertung

Nach erfolgter Erfassung, Sichtung und entsprechender Aufbereitung der Untersuchungsergebnisse lassen sich bestimmte Zusammenhänge der Messdaten erkennen. Es lassen sich unter anderem Zusammenhänge zwischen dem Alter der Probanden und deren Sehschärfe oder aber der Sehschärfe in Verbindung mit den Fehlsichtigkeiten der Untersuchungsteilnehmer erkennen.

4.1 Alter

Beim Vergleich der Altersverteilung der Untersuchungsteilnehmer mit der der letztendlichen Zielgruppe der Brillen fallen immense Unterschiede auf.

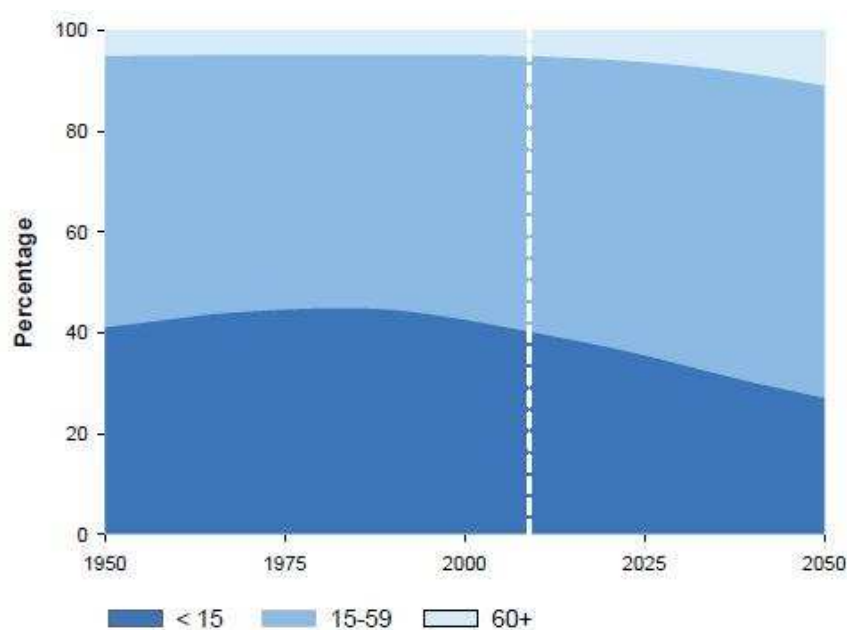


Abb. 18: Altersverteilung Entwicklungsländer; [13]

Wie auf Abbildung 18 zu erkennen ist, liegen in Entwicklungsländern ca. 40% der Bevölkerung unterhalb eines Alters von 15 Jahren. Ca. 55% befinden sich in einem Bereich zwischen 15 und 59 Jahren und lediglich ca. 5% der Bevölkerung sind älter als 59.

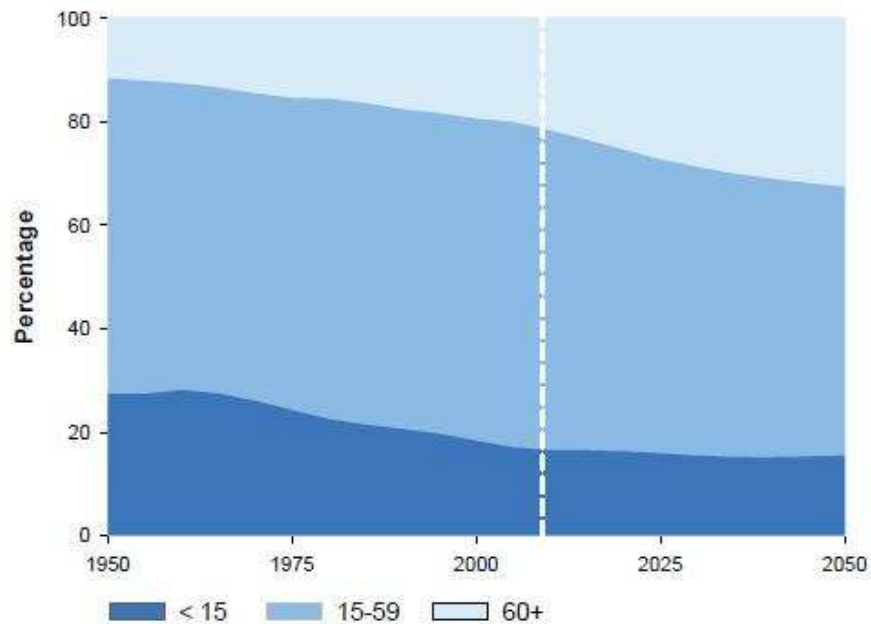


Abb. 19: Altersverteilung Industrienationen; [13]

Im Vergleich dazu sind in Industrienationen die Gruppen sehr viel anders verteilt. Es finden sich ca. 20% unter 15-jährige, ca. 70% der Bevölkerung liegen zwischen 15 und 59 Jahren und ca. 10% liegen über 59 Jahren Lebensalter. (vgl. Abb. 19)

Der Vergleich der Mediane liefert die gleichen Ergebnisse, in Entwicklungsländern liegt er bei unter 20 Jahren, in Industrienationen bei 40.

Zur weiteren Verdeutlichung lässt sich der Vergleich zwischen der Anzahl der 15-64-jährigen mit der der über 65-jährigen anführen (vgl. Abb. 20).

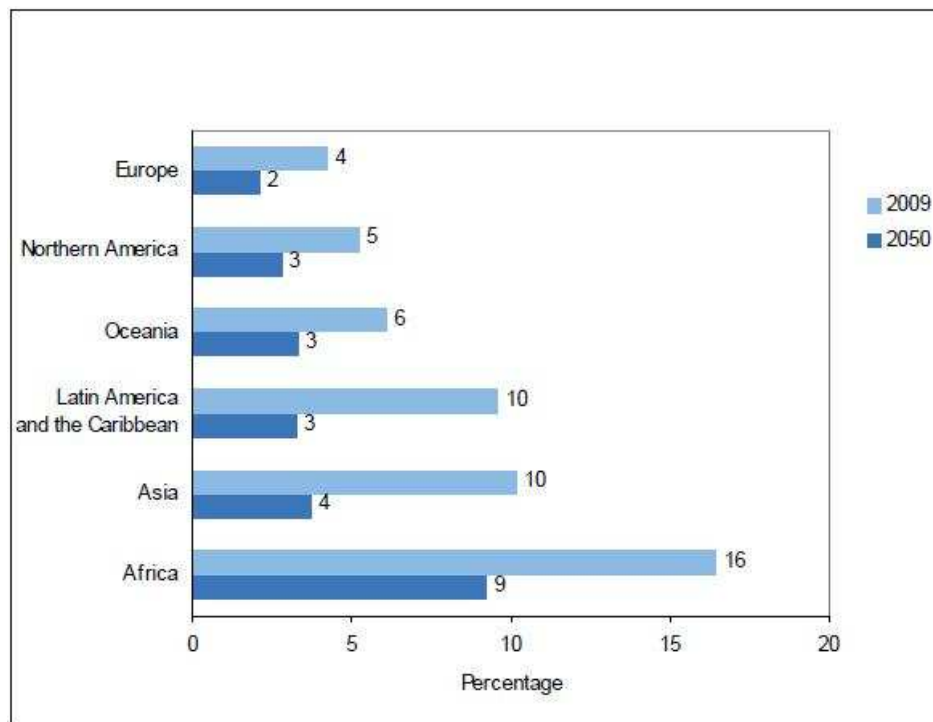


Abb. 20: Vergleich der 15-64-jährigen mit den über 65-jährigen; [13]

Während aktuell in Europa 4 Menschen aus der Gruppe der 15-64-jährigen auf einen über 65-jährigen kommen, sind es in Afrika momentan 16 junge Menschen die auf einen Alten, in 2050 werden es 2 in Europa bzw. noch 9 in Afrika sein. [13]

Bedingt durch die Altersstruktur der Patienten in der Augenarztpraxis Dr. Angele ergibt sich ein Durchschnittsalter der Untersuchungsteilnehmer von 56,47 Jahren ($\sigma=18,89$), was ca. 16 Jahre oberhalb des Medians für Industrienationen liegt.

Die Untersuchung entspricht also nicht der Altersstruktur der Menschen in Entwicklungsländern, was jedoch eine untergeordnete Rolle spielt. Von Fehlsichtigkeiten sind Menschen aller Altersgruppen betroffen, somit kann mit den Brillen theoretisch jedem geholfen werden. Unterschiede kann es in der Bedienung bzw. der generellen Sehleistung der Probanden geben, dies ist jedoch bei allen Messungen identisch, daher sind keine altersbedingten Fehler zu befürchten.

Vergleicht man die verschiedenen Altersgruppen der Probandengruppe mit einander so ergibt sich folgende Grafik (Abb. 21):

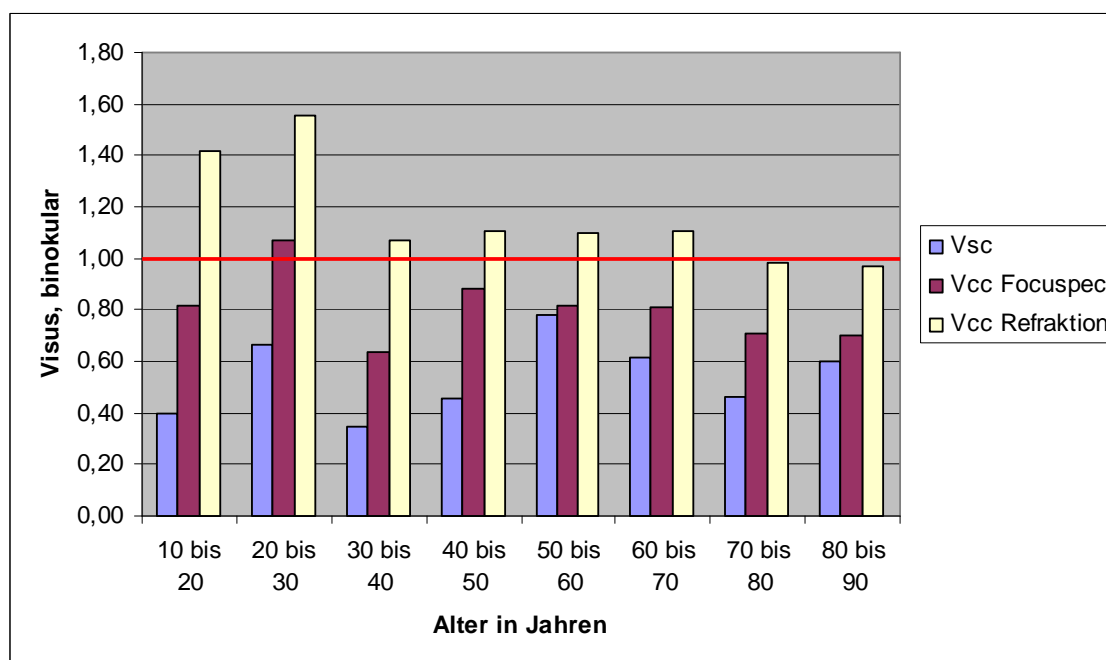


Abb. 21: Visusvergleich in Abhängigkeit vom Alter

Es ist zu erkennen, dass die Sehschärfe generell im Laufe des Lebens abnimmt. Ein 80-jähriger erreicht nicht mehr den Visus den er noch als 40-jähriger erreicht hat. Die Focusspec-Brille bietet somit in jungen Jahren eine deutlichere Verbesserung, was damit zusammenhängt, dass das Auge in diesem Alter noch zu Höchstleistungen fähig ist. Im Laufe des Lebens nimmt die Akkommodationsfähigkeit ab, die Medien werden trübe und der Glaskörper verflüssigt sich, was den optischen Eigenschaften abträglich ist. Trotz allem bietet die Focusspec-Brille noch eine akzeptable Sehschärfe in fortgeschrittenem Alter.

Somit bietet die Focusspec-Brille eine nahezu gleichbleibende Verbesserung über alle Altersklassen. Die Visusverbesserung im Vergleich zu einer subjektiven Refraktion bleibt ebenfalls nahezu unverändert.

Alles in Allem kann also festgehalten werden, dass das Alter der Probanden eine untergeordnete Rolle bei der Bewertung des Korrekturerfolgs der Focusspec-Brille spielt.

4.2 Visus

Die Sehschärfe (Visus) unseres visuellen Systems beschreibt die Fähigkeit Muster und Konturen der Außenwelt wahrzunehmen. Bei Normalpersonen liegt die maximal erreichbare Sehschärfe um den Wert 1,0. Ausreißer nach oben und unten sind durch die physiologische Streuung bedingt. Um einen Vergleich anzuführen: Zum Führen von Kraftfahrzeugen benötigt man in Deutschland einen Visus von 0,7.

Im Folgenden betrachtet man die Sehschärfe der Augen in der durchgeführten Untersuchung. Die Probandengruppe stellt sich, im Vergleich zwischen der Sehschärfe ohne jegliche Sehhilfe und mit Hilfe der Focusspec-Brille für die jeweils rechten bzw. linken Augen, folgendermaßen dar (vgl. Abb.22):

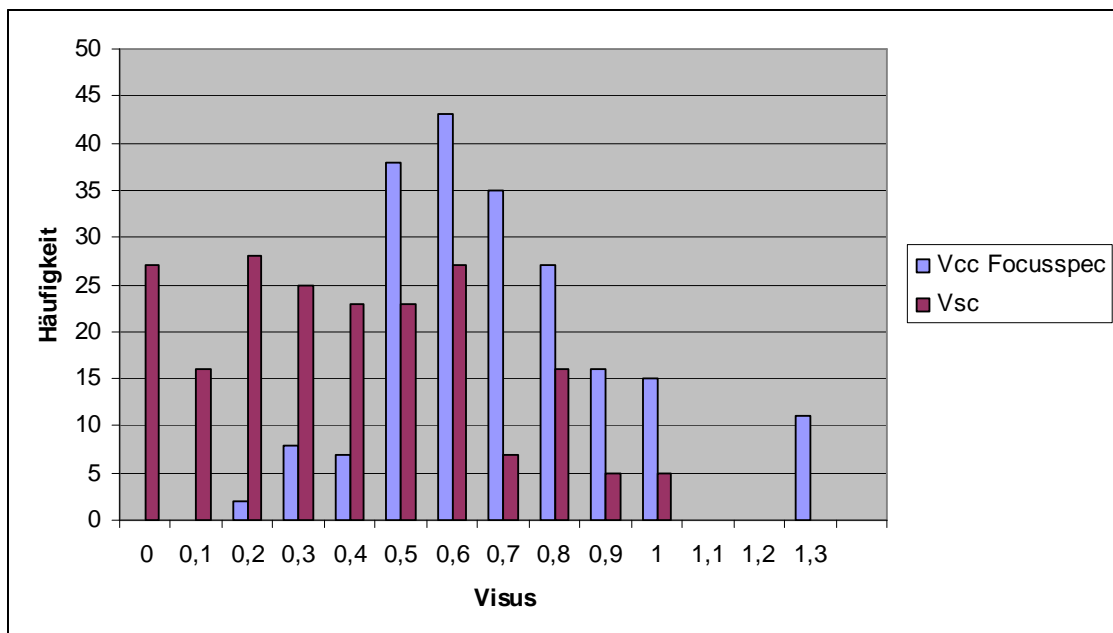


Abb. 22: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen Vsc und Vcc Focusspec, monokular

Es ist zu erkennen, dass ohne Sehhilfe lediglich 5 Probandenaugen oberhalb eines Visus von 1,0 liegen. Der Großteil der Augen der Untersuchungsteilnehmer liegt in einem Bereich von 0 bis 0,6 was einem prozentualen Anteil von 84% entspricht.

Im Vergleich dazu liegt mit der Focusspec-Brille die höchste Sehschärfe bei 1,3, der Großteil der Probandenaugen liegt in einem Bereich zwischen 0,5 und 1,0. Prozentual ausgedrückt liegen in diesem Bereich 86% der Probandenaugen. Vergleicht man die Sehschärfe ohne Hilfsmittel mit der maximalen Sehschärfe

die nach einer subjektiven Refraktion ermittelt wurde, so bietet sich folgendes Bild (vgl. Abb. 23):

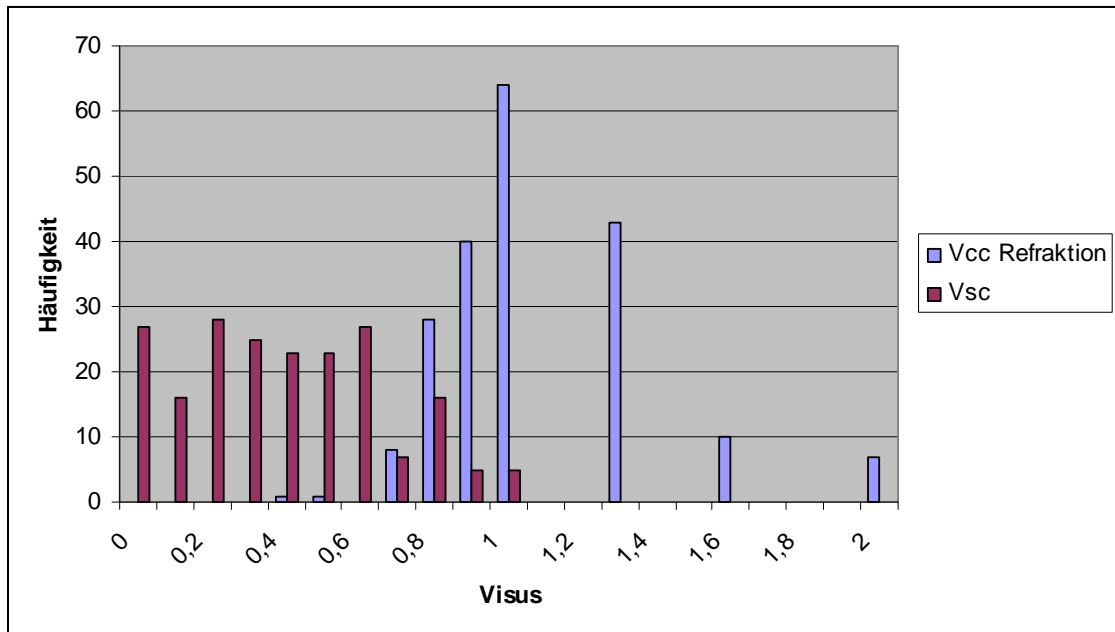


Abb. 23: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen Vsc und Vcc Refraktion, monokular

Die Sehschärfe ohne Hilfsmittel Vsc ist im Vergleich zu Abb. 21 unverändert, der maximale Visus eines Probandenauges nach der Refraktion liegt bei 2,0. Der Großteil der Visi liegt in einem Bereich zwischen 0,9 und 1,4 was 87% entspricht.

Es lässt sich somit nach einem ersten Vergleich bereits sagen, dass die Focusspec-Brille bezüglich der Sehschärfe eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum Sehen ohne Korrektur bietet.

Ein Vergleich der beiden Sehhilfen miteinander liefert folgende Grafik (vgl. Abb. 24):

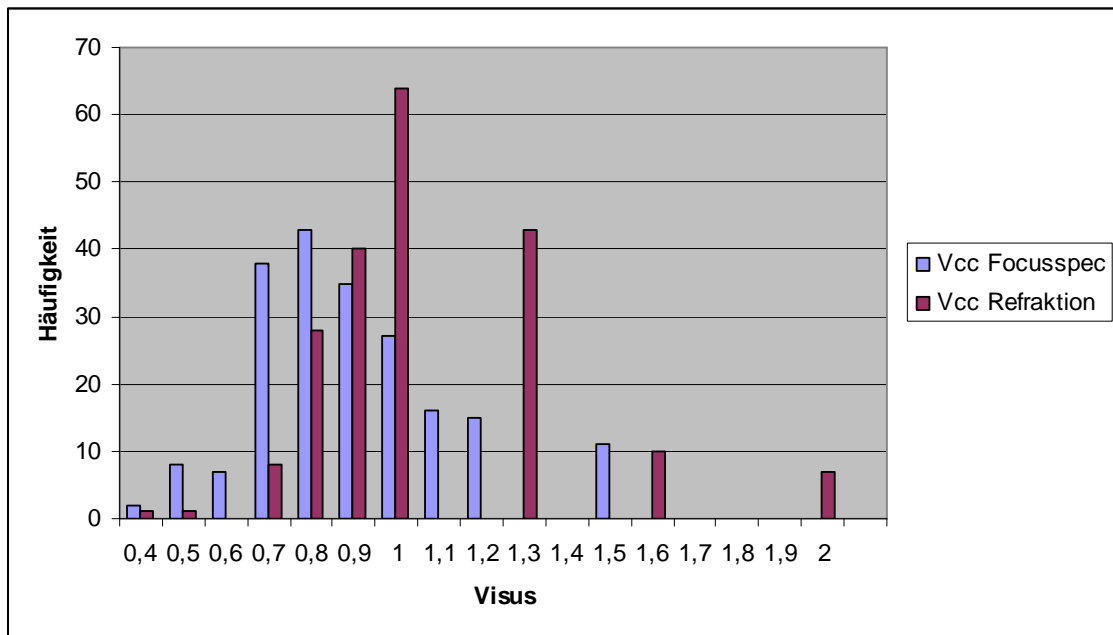


Abb. 24: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen Vcc Focusspec und Vcc Refraktion, monokular

Im Vergleich der beiden Sehhilfen miteinander ist eine Verschiebung der Häufigkeiten zu erkennen. Während mit der Focusspec-Brille der größte Teil der Visi der untersuchten Augen, wie bereits erwähnt, zwischen 0,5 und 1,0 liegt, befindet sich der Großteil der Sehschärfen der Probanden Augen nach einer subjektiven Refraktion in einem Bereich zwischen 0,9 und 1,4.

Es findet also eine deutliche Steigerung der Sehschärfe mit Korrektur durch die Focusspec-Brille statt, die jedoch nicht so groß wie die nach einer subjektiven Refraktion ist. Die Probanden erreichen jedoch mit Hilfe der Focusspec-Brille einen Visus der im besten Fall im Normalbereich liegt.

Vergleicht man die Sehschärfen der einzelnen Probanden, z.B. die Sehschärfe ohne Hilfsmittel gegenüber der mit Hilfe der Focusspec-Brille, unmittelbar miteinander, so lässt sich eine Grafik mit einer qualitativen Aussage über die Visussteigerung erstellen.

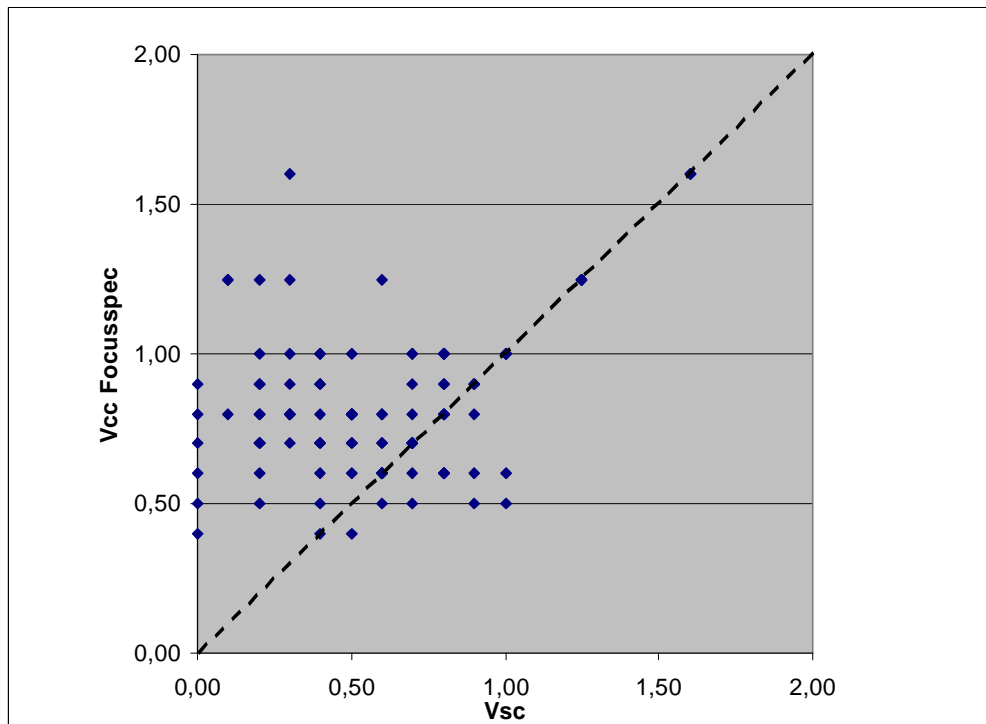


Abb. 25: Visusvergleich Vsc und Vcc Focusspec, binokular

Die Messpunkte oberhalb der gestrichelten Linie zeigen eine Verbesserung der Sehschärfe durch die Focusspec-Brille an, die Punkte unterhalb der Linie geben eine Verschlechterung des Visus an. Liegt der Messpunkt auf der Linie so ist keine Veränderung des Visus messbar.

Es lässt sich eine klare Verteilung der Messwerte zu Gunsten der Focusspec-Brille erkennen, wobei nahezu alle Probanden ihren Visus verbessern, einige wenige verschlechtern sich (vgl. Abb. 25).

Die Verschlechterungen lassen sich auf geringe Refraktionsdefizite der Probanden zurückführen die außerhalb des Korrektionsbereiches der Focusspec-Brille liegen. Hier ist die geringste einstellbare Korrektion noch zu stark, es wird keine Verbesserung erreicht sondern, wie teilweise geschehen, eine Verschlechterung der Sehschärfe.

Ähnlich verhält es sich mit den Punkten auf der Geraden. Hier war keine Verbesserung mit der Focusspec-Brille zu erreichen, die Probanden waren in der Lage ohne Sehhilfe genauso gut zu sehen wie mit der Focusspec-Brille. Eine Verwendung der Brille hätte in diesem Falle keinen Sinn.

Wird die Sehschärfe ohne Korrektur gegenüber der nach einer subjektiven Refraktion aufgetragen so ergibt sich folgendes Bild (Abb. 26):

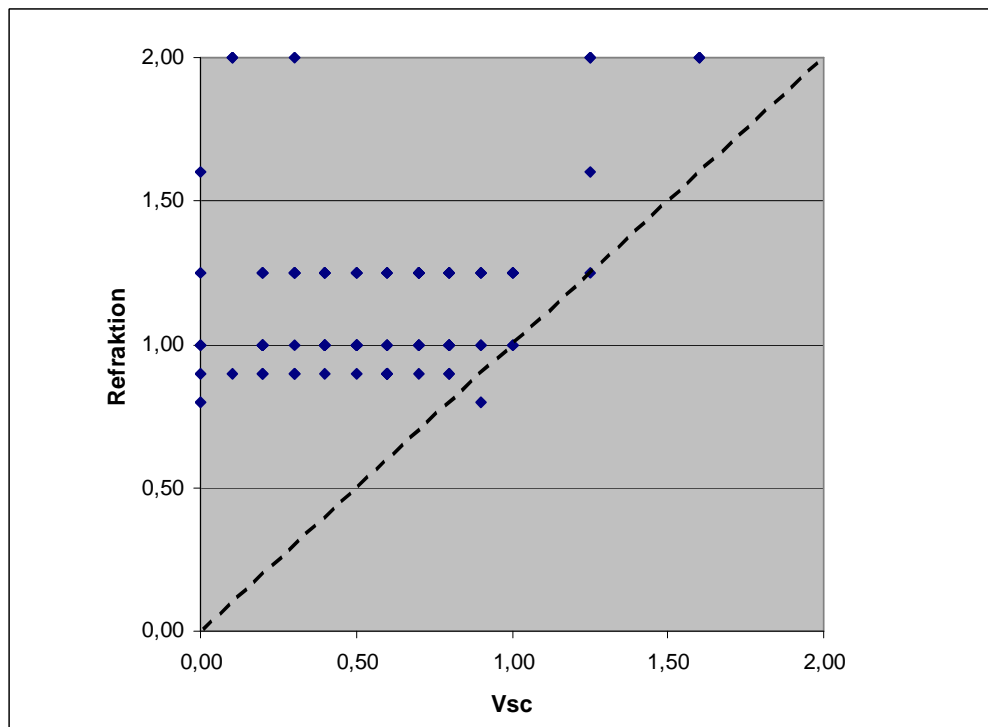


Abb. 26: Visusvergleich Vsc und Vcc Refraktion, binokular

Die Messpunkte oberhalb der gestrichelten Linie zeigen eine Verbesserung des Visus nach der Refraktion gegenüber des Visus ohne Sehhilfe, die Punkte unterhalb der Linie zeigen wiederum eine Verschlechterung der Sehschärfe nach der subjektiven Refraktion an.

Einige Messpunkte liegen auf der Linie, hier hat weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung stattgefunden. Der Großteil der Probanden erzielte mit den individuell ermittelten Werten eine deutliche Steigerung der Sehschärfe, einige wenige bemerkten keine Verbesserung und lediglich ein Proband verschlechterte sich. Im Vergleich zur vorangegangenen Abb. 25 lässt sich eine deutlichere Verlagerung zu Gunsten der Refraktion feststellen. Auch Verschlechterungen bzw. Stagnationen der Sehschärfe sind seltener.

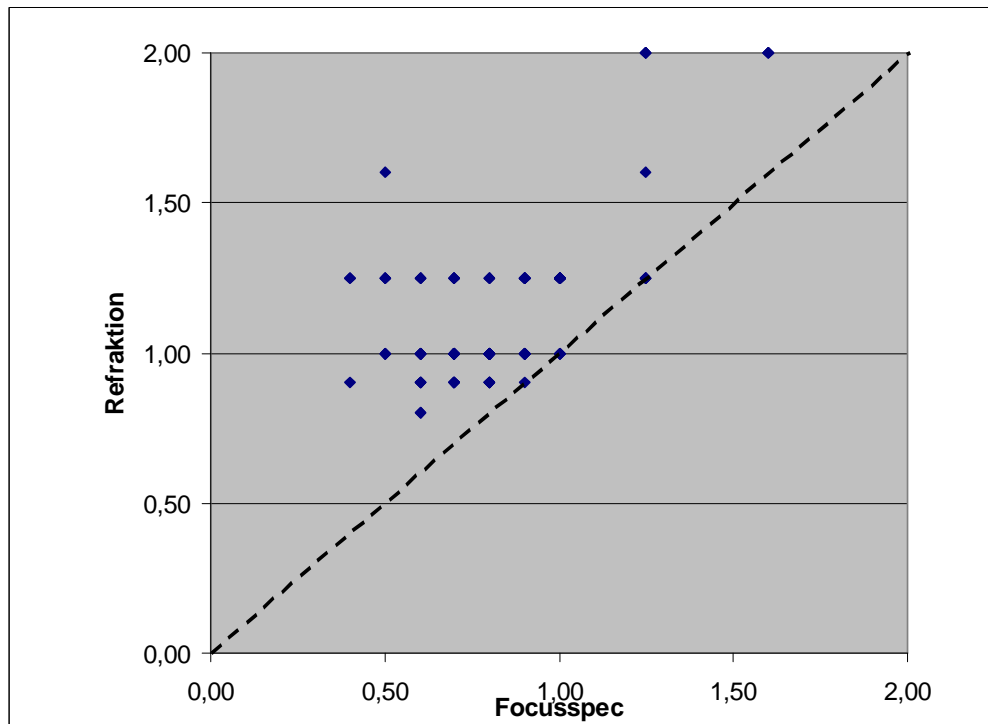


Abb. 27: Visusvergleich Vcc Focusspec und Vcc Refraktion, binokular

Werden beide Hilfsmittel, die Focusspec-Brille und die individuell ermittelten Refraktionswerte miteinander verglichen, so lässt sich eine Verteilung zu Gunsten der Refraktion erkennen (vgl. Abb. 27). Die Werte oberhalb der gestrichelten Linie geben wie in Abb. 26 die Probanden die nach einer subjektiven Refraktion einen besseren Visus als mit der Focusspec-Brille erzielt haben, die Punkte unterhalb der Linie die Probanden die mit der Focusspec-Brille eine Verbesserung erzielten. Punkte auf der Linie zeigen wie in den vorangegangenen Abbildungen keine Veränderung in der Sehschärfe.

Einige wenige Probanden verzeichnen keine Verbesserung nach der subjektiven Refraktion, jedoch auch keine Verschlechterung. Der Visus ist mit beiden Hilfsmitteln konstant. Dies sind vor allem junge Probanden die mit Hilfe der Focusspec-Brille eine gleich gute Korrektur erfahren wie mit den individuellen Refraktionswerten, was auf eine gute Akkommodationsfähigkeit schließen lässt. Ältere Menschen haben diese Fähigkeit nicht mehr, wodurch eine exakte Korrektur der Abbildungsfehler noch wichtiger wird, sie können eventuelle Fehlsichtigkeiten oder weniger genaue Einstellungen der Focusspec-Brille nicht mehr ausgleichen. Der größte Teil steigerte daher seinen Visus mit den individuellen Werten im Vergleich zur Focusspec-Brille.

4.3 Ametropien

Durch den Umstand dass die Focusspec-Brille in zwei Varianten, jeweils eine für Myope und eine für Hyperope, hergestellt wird, ergibt sich die Differenzierung der Probandengruppe in Kurz- und Übersichtige von alleine. Betrachtet man die Gesamtanzahl von 101 untersuchten Personen, so sind hiervon 47 hyperop und 54 myop, was einer prozentualen Verteilung von 47% zu 53% entspricht (vgl. Abb. 28).

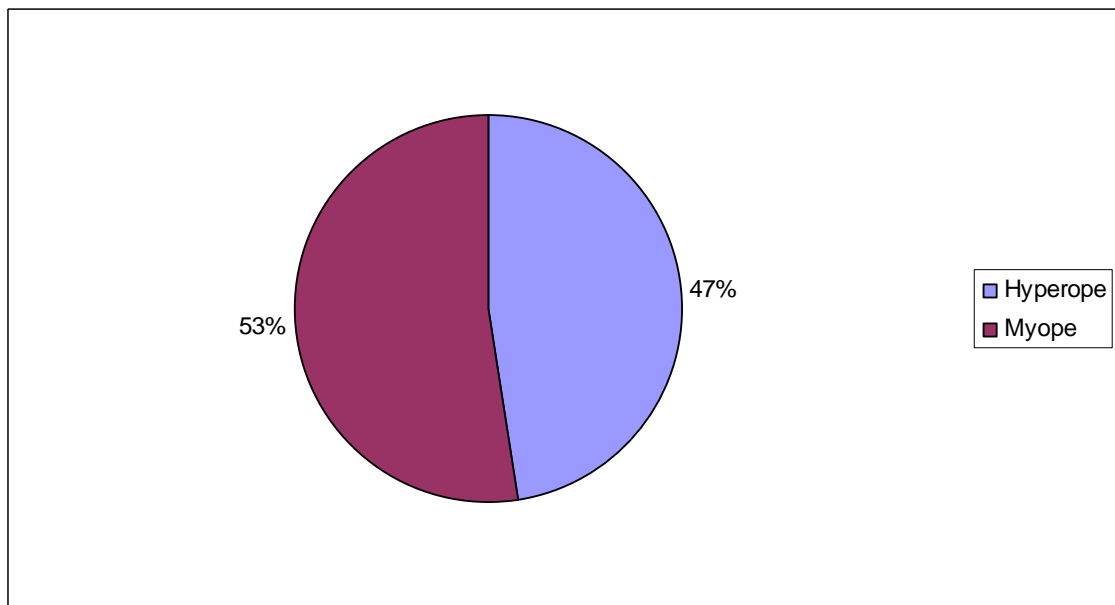


Abb. 28: Verteilung der Ametropien

Diese Einteilung ermöglicht eine detaillierte Aufschlüsselung der Ergebnisse über die beiden Brillenvarianten, so dass die Visi für die verschiedenen Ametropien, sowie die prozentuale Steigerung der Visi errechnet werden kann.

Tb. 1: Vergleich der Mittelwerte der Visi und deren Steigerungen, monokular

	gesamt	hyperop	myop
Vsc (Mittelwert)	0,39	0,46	0,33
Vcc Focusspec (Mittelwert)	0,69	0,67	0,71
Steigerung Vcc Focusspec ggü. Vsc	77%	45%	117%
Vcc Refraktion (Mittelwert)	1,05	0,99	1,1
Steigerung Vcc Refraktion ggü. Vsc	169%	114%	239%

Vergleicht man die Visi der gesamten Probandengruppe miteinander, so erkennt man, dass sich der monokulare Visus Vsc ohne Korrektur von durchschnittlich 0,39; $\sigma=0,27$ auf 0,69; $\sigma=0,22$ unter Verwendung der Focusspec-Brille steigert. Dies entspricht einer prozentualen Steigerung von 77%. Vergleicht man den Ausgangsvisus mit dem nach einer subjektiven Refraktion, so ergibt sich eine Steigerung von durchschnittlich 169% auf 1,05; $\sigma=0,28$ mit Hilfe der individuellen Refraktionswerte.

Bei hyperopen Probanden mit einem Ausgangsvisus von durchschnittlich 0,46; $\sigma=0,28$ ergibt sich mit Hilfe der Focusspec-Brille eine Steigerung von 45% auf 0,67; $\sigma=0,18$. Mit Hilfe einer exakt in ihren Stärken gefertigten Brille wäre eine Steigerung von durchschnittlich 114% möglich.

Myope Probanden konnten sich mit der Focusspec-Brille von einem Ausgangsvisus von durchschnittlich 0,33; $\sigma=0,25$ um ca. 117% auf 0,71; $\sigma=0,25$ steigern. Nach einer subjektiven Refraktion war eine Steigerung von durchschnittlich 239% auf 1,1; $\sigma=0,34$ möglich (vgl. Tb.1).

Alles in allem kann man sagen, dass die Focusspec-Brille bei monokularer Messung über die gesamte Anzahl der Probanden eine durchschnittliche Verbesserung des Visus um 61% lieferte. Myope Untersuchungsteilnehmer hatten generell einen größeren Zuwachs der Sehschärfe als hyperope Untersuchungsteilnehmer. Dies liegt daran, dass die hyperopen Probanden beim Vsc generell

höher lagen als ihre myopen Kollegen. Während die Übersichtigen einen Visus ohne Sehhilfe von durchschnittlich 0,46; $\sigma=28$ erreichten, schafften die Kurzsichtigen nur 0,33; $\sigma=0,25$. Dies lässt sich mit der Fähigkeit des menschlichen Auges zur Akkommodation erklären, die hyperopen Probanden können diese zu ihrem Vorteil nutzen und somit in der Ferne besser sehen, während die Myopen diesen Vorteil nicht haben. Zudem tritt bei den kurzsichtigen Probanden eine deutlichere Verbesserung des Visus auf, da diese mit Sehhilfe in der Ferne, also auch in der Messentfernung, wesentlich besser sehen können. Mit der Focusspec-Brille liegt der durchschnittliche Visus für Hyperope bei 0,67; $\sigma=0,18$, für Myope bei 0,71; $\sigma=0,25$.

Tb. 2: Mittelwerte der Visi und deren Steigerungen, binokular

	gesamt	hyperop	myop
Vsc (Mittelwert)	0,57	0,57	0,56
Vcc Focusspec (Mittelwert)	0,8	0,78	0,86
Steigerung Vcc Focusspec ggü. Vsc	40%	39%	52%
Vcc Refraktion (Mittelwert)	1,15	1,08	1,21
Steigerung Vcc Refraktion ggü. Vsc	58%	91%	116%

Betrachtet man die binokularen Messergebnisse, so sind die Steigerungen nicht so gravierend wie bei monokularer Betrachtung. Dies liegt daran, dass das binokulare Sehen generell eine höhere Sehschärfe zulässt als das monokulare Sehen. Die Bilder beider Augen werden miteinander abgeglichen und somit ein detaillierteres Bild generiert.

Die Probanden insgesamt konnten sich von einem Ausgangsvisus von durchschnittlich 0,57; $\sigma=0,34$ mit Hilfe der Focusspec-Brille um 40% auf 0,8; $\sigma=0,25$ steigern, nach einer subjektiven Refraktion war eine Steigerung von 58% auf 1,15; $\sigma=0,28$ im Vergleich zum Ausgangsvisus zu erkennen.

Die hyperopen Probanden steigerten sich mit Hilfe der Focusspec-Brille von 0,57; $\sigma=0,26$ durchschnittlich um 39% auf 0,78; $\sigma=0,19$, mit den exakten Refraktionswerten war eine Steigerung von 91% auf durchschnittlich 1,08; $\sigma=0,15$ möglich.

Die myopen Untersuchungsteilnehmer steigerten ihren Ausgangsvisus mit der Focusspec-Brille von durchschnittlich 0,56; $\sigma=0,39$ um 52% auf 0,86; $\sigma=0,29$. Die subjektive Refraktion ergab eine Steigerung von 116% auf durchschnittlich 1,21; $\sigma=0,35$ (vgl. Tb.2).

Wie schon erwähnt fallen die Veränderungen bei binokularen Bedingungen weniger stark ins Gewicht. Es ist jedoch ebenso wie bei der monokularen Betrachtung zu erkennen, dass die hyperopen Probanden eine bessere Ausgangssehschärfe haben als die myopen Probanden.

Beim Vergleich der erzielbaren Visi mit Hilfsmitteln sind die Myopen wiederum besser als die Hyperopen. Hier fanden sowohl mit der Focusspec-Brille als auch mit den Refraktionswerten deutlichere Steigerungen der Sehschärfe statt. Auch die erzielten Visusstufen lagen bei myopen Untersuchungsteilnehmern generell höher als bei hyperopen Teilnehmern, was sich wiederum mit der Akkommodationsfähigkeit, deren Vorteil durch die Art der Fehlsichtigkeit bedingt ist, erklären lässt.

4.3.1 Sphäre

Zum Vergleich der Brillen gegen einander muss neben der Art der Fehlsichtigkeit auch deren Stärke berücksichtigt werden. Die sphärische Fehlsichtigkeit lässt sich, sofern man den Astigmatismus außen vor lässt, über die gesamte Probandengruppe gut vergleichen.

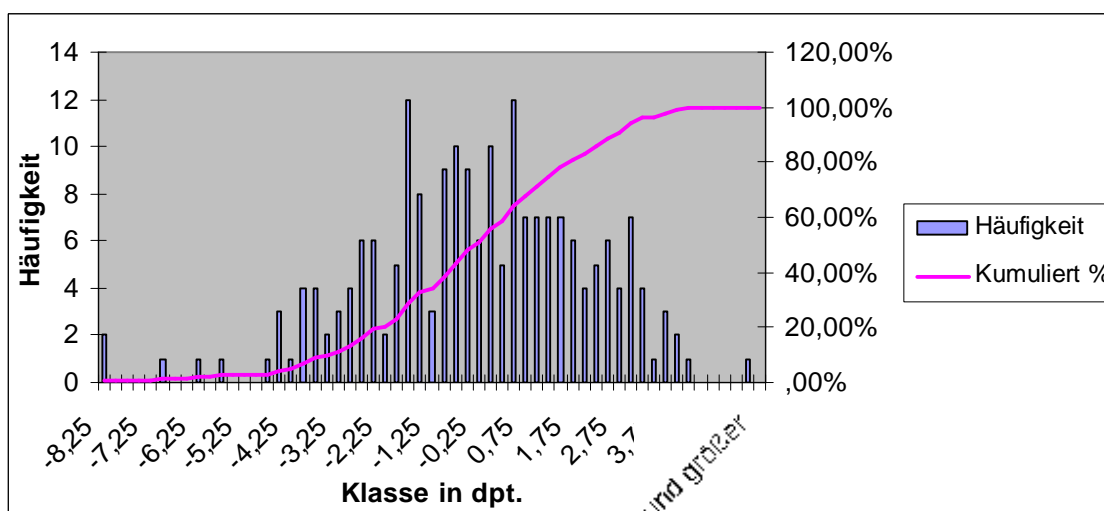


Abb. 29: Häufigkeitsverteilung Sphäre

Es ist zu erkennen, dass eine gewisse Häufung im Bereich von -2,0 bis +3,0 auftritt. Innerhalb dieses Bereiches liegen ca. 70% der Probanden (vgl. Abb. 29). Es lässt sich also feststellen, dass sich ein Großteil der Probanden auf einen relativ kleinen Wertebereich konzentriert. Dies gilt jedoch nur sofern lediglich die sphärische Fehlsichtigkeit betrachtet wird.

Durch die verschiedenen Varianten der Focusspec-Brille für Myope und Hyperope lassen sich die Grenzen der Wertebereiche generell wie folgt einteilen:

- für die Variante für Myope: <0 dpt.
- für die Variante für Hyperope: >0 dpt.

Die Entscheidung welche Brille verwendet wird ist jedoch nicht nur vom sphärischen Wert abhängig, hier spielt das BSG ebenfalls eine Rolle. So wird ein Proband der lediglich eine starke Hornhautverkrümmung hat mit der Focusspec-Brille für Myope sicherlich besser sehen als ohne Hilfsmittel.

4.3.2 Astigmatismus

Anders als bei den sphärischen Fehlsichtigkeiten stellt sich durch den Umstand, dass Hornhautverkrümmungen nicht nur durch einen Parameter angegeben werden, ein Vergleich der Probanden untereinander als schwierig dar. Betrachtet man lediglich den zylindrischen Wert des Astigmatismus, so lässt sich eine Häufigkeitsverteilung erstellen.

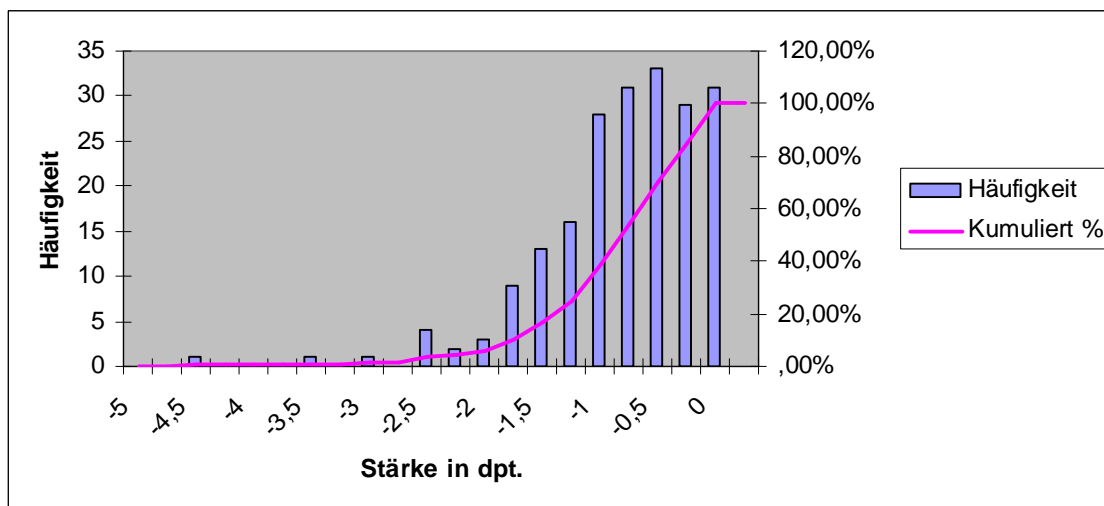


Abb. 30: Häufigkeitsverteilung Zylinder

Man erkennt in Abb. 30, dass der größte Teil der Probanden eine Hornhautverkrümmung hat, lediglich ca. 5% haben keinen Astigmatismus. Der Großteil der Untersuchungsteilnehmer liegt bei der astigmatischen Fehlsichtigkeit im Bereich zwischen 0 und -1,5 dpt, was ca. 80% der untersuchten Probanden entspricht.

Der zweite Teil der Astigmatismuskorrektur, die Achslage, lässt sich zwar ebenfalls vergleichen, es ist jedoch auf Grund der Menge der verschiedenen Möglichkeiten wenig sinnvoll hier eine Häufigkeitsverteilung durchzuführen.

Generell kann jede Zylinderstärke mit jeder Achslage kombiniert werden bzw. im Auge als Fehlsichtigkeit vorliegen. Somit werden sich nur mit viel Glück mehrere Augen mit exakt der gleichen Fehlsichtigkeit finden lassen.

Der Astigmatismus spielt bei der Korrektur mit der Focusspec-Brille eine untergeordnete Rolle. Da es zu aufwändig wäre die Brille mit astigmatismuskorrigierenden Gläsern zu fertigen wird dieser nahezu vernachlässigt. Hier macht sich wiederum der oben bereits erwähnte Umstand, dass es sehr viele verschiedene sphäro-zylindrische Kombinationen gibt, bemerkbar. Den Anspruch diese auszugleichen kann man an individuell gefertigte Gläser stellen, jedoch nicht an Universalsehhilfen.

4.3.3 BSG

Die in der Untersuchung betrachteten Abbildungsfehler Sphäre und Astigmatismus, sowie dessen Achslage, können auf Grund ihrer Komplexität nicht, oder nur schlecht einzeln zum Vergleich der Sehschärfen bzw. deren Veränderungen herangezogen werden. Es gibt eine unüberschaubar große Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten in denen die Fehler vorliegen können. Daher wird mit Hilfe des besten sphärischen Glases (BSG) eine Kombination aus den beiden Abbildungsfehlern errechnet und diese mit den Sehschärfen verglichen.

Das BSG ergibt sich aus folgender Formel:

$$BSG = sph + \frac{1}{2} cyl$$

Formel 7: Berechnung des BSG

Bei der subjektiven Refraktion geht es darum „eine sphärische Korrektur zu ermitteln, die eine möglichst hohe Sehschärfe bei möglichst weitgehender Fernakkommodation ergibt, wobei ein eventuell vorhandener Astigmatismus unberücksichtigt bleibt.“ {[5], S.261}

Hier wird mit Hilfe der Formel (vgl. Formel 7) vom Endergebnis zurückgerechnet. Es wird also ein Wert ermittelt der die vorliegende sphäro-zylindrische Fehlsichtigkeit bestmöglich mit sphärischen Gläsern versorgt.

Nach der Umrechnung aller Fehlsichtigkeiten der Probanden und dem Vergleich der einzelnen Sehschärfen mit den verschiedenen Hilfsmitteln ergibt sich folgende Verteilung (Abb. 31):

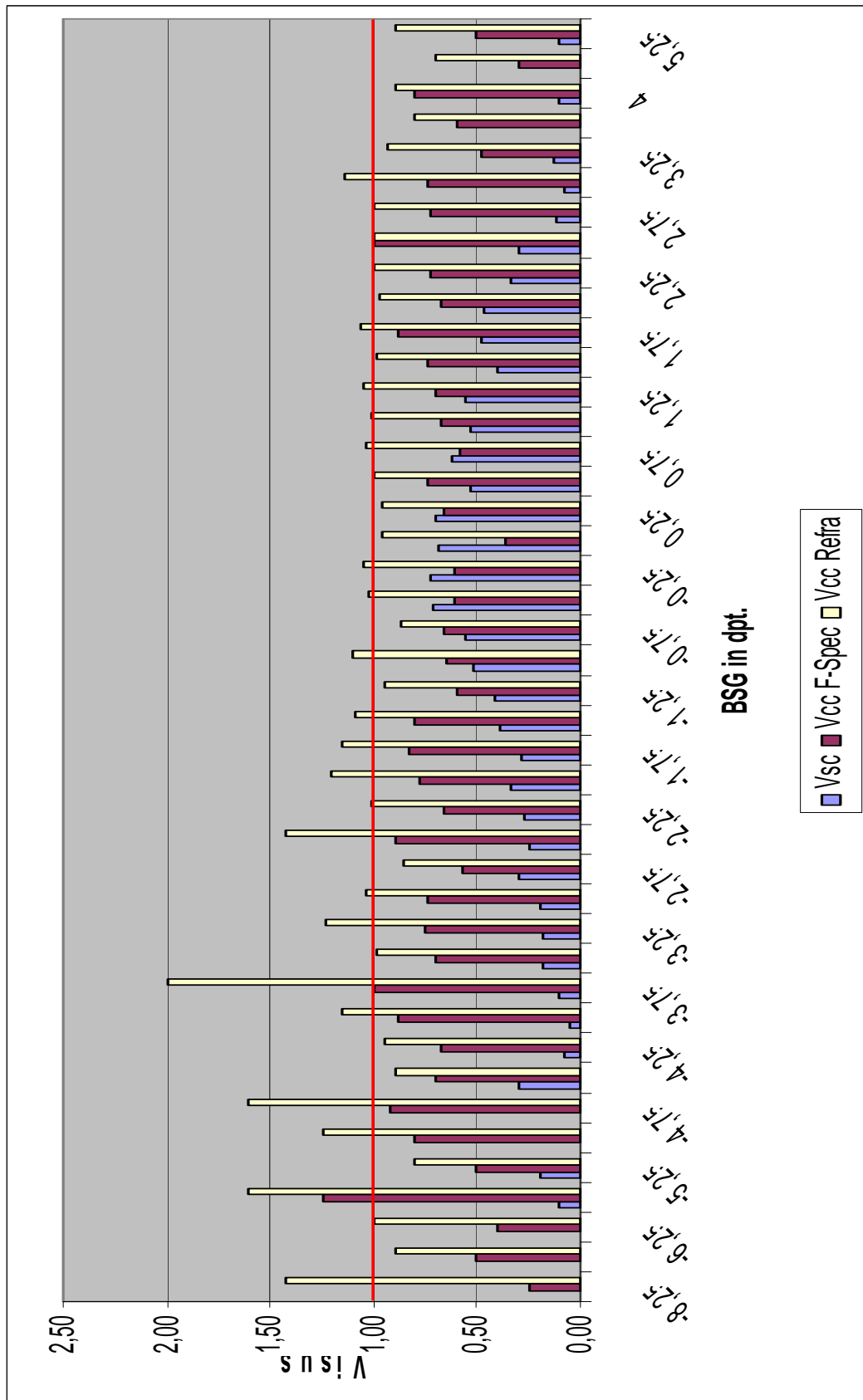


Abb. 31: Visusverteilung, Vergleich der Sehhilfen

Es ist zu erkennen, dass die Probanden ohne Sehhilfe zwischen -0,5 dpt. und 1,25 dpt. einen Visus $>0,5$ erreichen, unter bzw. oberhalb dieses Wertebereiches liegt kein Proband über einer Sehschärfe von 0,5. Mit Hilfe der Focusspec-Brille liegen nahezu alle Probanden unabhängig ihrer Korrektionswerte oberhalb einer Sehschärfe von 0,5, einige erreichen sogar die Grenze von 1,0 oder erzielen noch höhere Werte.

Es ist also zu beobachten, dass die Focusspec-Brille eine generelle Verbesserung der Sehschärfe liefert. Während die Probanden nach einer subjektiven Refraktion einen monokularen Visus von durchschnittlich 1,05; $\sigma=0,28$ haben, liegt der monokulare Visus bei Korrektion mit der Focusspec-Brille bei durchschnittlich 0,69; $\sigma=0,22$. Die in rot eingetragene Gerade bei Visus 1,0 verdeutlicht den Normwert bei Normalpersonen und stellt somit den Zielwert der Sehschärfe dar.

Die subjektive Refraktion bringt also nahezu alle Probanden auf den gewünschten Zielwert von 1,0 und stellt somit die bestmögliche Korrektionsart dar. Die Werte der Focusspec-Brille liegen, wie schon erwähnt, durchschnittlich um den Wert 0,7 was, wie bereits unter Punkt 5.2 erwähnt, zum Führen von Kraftfahrzeugen ausreichend wäre und somit einer guten Sehleistung entspricht.

4.4 Korrektionsbereich der Focusspec-Brille

Die Focusspec-Brille ist, wie bereits erwähnt, bauartbedingt in zwei verschiedenen Ausfertigungen verfügbar. Zum einen für Hyperope und zum anderen für Myope. Zur erfolgreichen optischen Korrektion eines möglichst großen Personenkreises, ist es wichtig einen relativ breiten Korrektionsbereich zu gewährleisten. Schwierig ist es hierbei den Kompromiss zwischen Ästhetik und Funktionalität zu meistern. Je breiter der Korrektionsbereich sein soll, desto weiter müssen die Brillengläser gegeneinander verschiebbar sein, aber desto größer wird wiederum die Brillenfassung. Da die Fassungsgröße auf Grund der anatomischen Gegebenheiten des Menschen limitiert ist, sind daher auch den einstellbaren Werten der Focusspec-Brille Grenzen gesetzt.

Misst man diese Grenzen aus, so erhält man ungefähre Grenzwerte innerhalb derer die Focusspec-Brillen im Normalfall ein verbessertes Sehen ermöglichen.

Außerhalb dieser Grenzen tritt zwar eine Verbesserung der Sehschärfe ein, eine optimale Korrektur ist jedoch unwahrscheinlich bzw. nicht möglich.

Tb. 3: Korrektionsbereich Focusspec-Brille für Myope

Gerät	Hersteller	Seriennummer					
TL-100	Tomey	611205		sph.	cyl.	Achse	Gesamt-PD
			R	-1,00	-0,75	88°	60 mm
			L	-1,25	-1,50	90°	
			R	-4,25	-1,75	90°	58,5 mm
			L	-4,50	-2,00	91°	
TL-3000A	Tomey	256205					
			R	-1,50	-1,75	85°	60 mm
			L	-1,50	-1,00	90°	
			R	-4,25	-0,50	88°	58,5 mm
			L	-4,50	-1,50	94°	

Tb. 4: Korrektionsbereich Focusspec-Brille für Hyperope

Gerät	Hersteller	Seriennummer					
TL-100	Tomey	611205		sph.	cyl.	Achse	Gesamt-PD
			R	2,00	-0,50	110°	59,5 mm
			L	1,50	-0,25	111°	
			R	4,25	-0,25	135°	60 mm
			L	4,00	-0,25	110°	
TL-3000A	Tomey	256205					
			R	2,00	-0,50	101°	59,5 mm
			L	1,50	-0,25	112°	
			R	4,25			60 mm
			L	4,00	-0,25	113°	

Betrachtet man die Korrektionsbereiche aus den Tabellen 3 und 4, so fällt eine recht große Streuung der Messwerte ins Auge. Da ein objektiver Vergleich somit nicht möglich wäre, werden die Messwerte über beide Messgeräte gemittelt und im BSG ausgedrückt. Es ergeben sich folgende Grenzen der Korrektionsbereiche:

- Variante für Myope: -2 dpt. bis -5 dpt.
- Variante für Hyperope: 1,75 dpt. bis 4 dpt.

Werden nun nur die Probanden innerhalb dieser Gruppe betrachtet, so stellen sich die verschiedenen Sehschärfen folgendermaßen dar (Abb. 32):

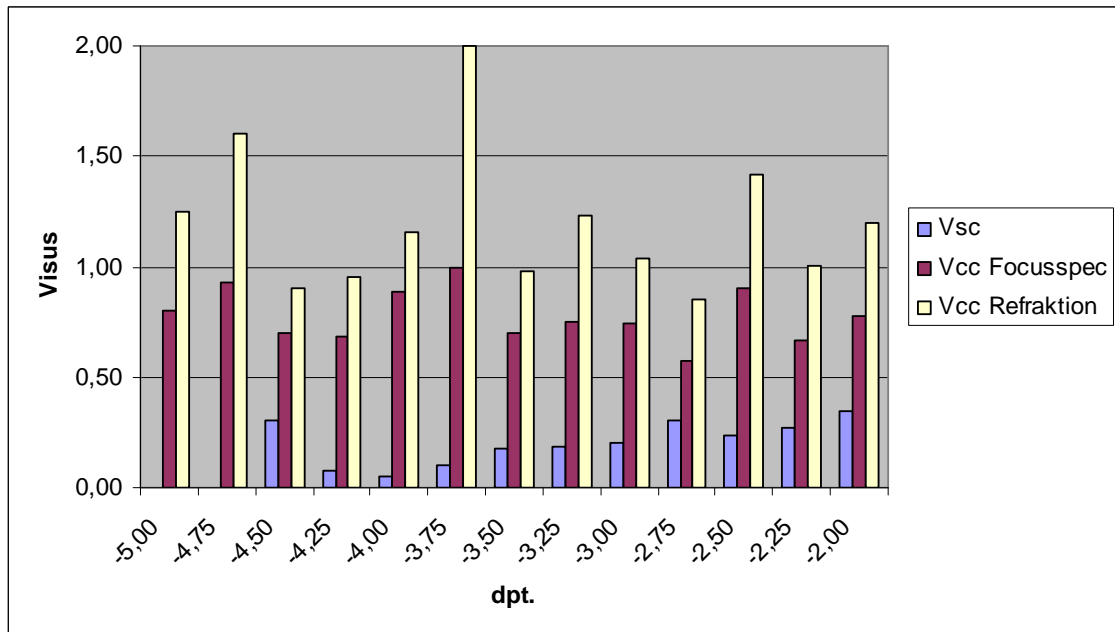


Abb. 32: Visusvergleich innerhalb des Korrektionsbereiches, Version für Myope, monokular

Es ist zu erkennen, dass die Focusspec-Brille bei kurzsichtigen Probanden durchschnittlich eine Steigerung der Sehschärfe um einen Faktor von 4 gegenüber dem Visus ohne Sehhilfe bietet. Im Vergleich des Vsc mit dem nach einer subjektiven Refraktion (Vcc Refraktion) verbessert sich die Sehschärfe sogar um einen Faktor von 6.

Hierbei ist zu beachten, dass im Vergleich zum Gesamtdurchschnitt der Verbesserungen nur eine begrenzte Anzahl an Probanden betrachtet wurde. Der Gesamtverbesserungsdurchschnitt fällt daher entsprechend schlechter aus.

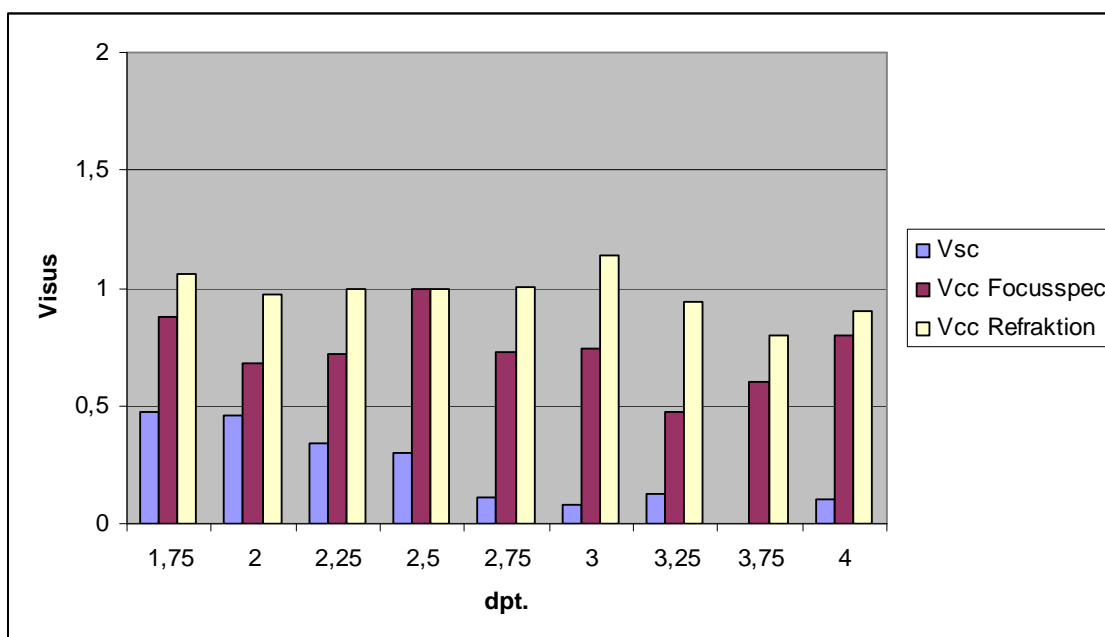


Abb. 33: Visusvergleich innerhalb des Korrektionsbereiches, Version für Hyperope, monokular

Bei Hyperopen zeigt sich ein ähnliches Bild. In Abb. 33 ist zu erkennen, dass die Focusspec-Brille eine deutliche Verbesserung der Sehschärfe erzielt, der Visus steigert sich durchschnittlich um einen Faktor von 3 im Vergleich zum Vsc. Als Vergleichswert dient hier wiederum der Vcc nach einer subjektiven Refraktion, die Steigerung liegt bei einem Faktor von 4 im Vergleich zum Visus ohne Sehhilfe.

Dass die Verbesserungen der Sehschärfe im Vergleich innerhalb des Korrektionsbereiches so hoch ausfallen liegt zum einen an der relativ kleinen Probandengruppe auf die die Grenzen des Korrektionsbereiches anwendbar sind. Es befinden sich 54 von 202 untersuchten Probandenaugen innerhalb des Korrektionsbereiches für Myope und 33 Augen innerhalb des Korrektionsbereiches für Hyperope. Dies entspricht einer Gesamtanzahl von 87 Augen, was 43% der Gesamtuntersuchung repräsentiert. Also fielen: 43 von 101 Probanden fielen in den Korrektionsbereich der Focusspec-Brille, die anderen Probanden waren meist wegen zu geringer Fehlsichtigkeiten nicht geeignet.

Zum anderen sind die hohen Sehschärfenanstiege mit der Tatsache begründet, dass die Grenzen der Korrektionsbereiche relativ hoch sind.

Zum Vergleich: Der Durchschnittsproband der Untersuchung mit geringer Myopie hat ein Refraktionsdefizit von sph. -0,31 cyl. -0,8/ 94°

(sph.: $\sigma=2,39$; cyl.: $\sigma=0,69$; Achse: $\sigma= 47,4$.) und erreicht damit einen Vsc von 0,39; $\sigma =0,27$ und einen Vcc Focusspec von 0,69; $\sigma=0,22$.

Ein zweiter beispielhaft ausgewählter Proband aus der Messung mit einem BSG von -3,25 hat einen Vsc von 0,1, kann also gerade die kleinste Abstufung der Optotypen (also die größten Sehzeichen) lesen, und ein Vcc Focusspec von 1,25. Allein diese Visussteigerung liegt in einem Bereich von 1.250%.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Probanden mit hohen Ametropien naturgemäß eine deutlich größere Steigerung mit der Sehhilfe erwarten können als Probanden mit geringen Fehlsichtigkeiten.

5 Diskussion

Nach Abschluss der Messungen und Auswertung der Messergebnisse stellt sich die Frage wie gut verschiedene Fehlsichtigkeiten mit Hilfe der Focusspec-Brille korrigiert werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass Sehhilfe einen immensen Vorteil gegenüber dem Sehen ohne Hilfsmittel bietet. Die Sehschärfe der Probanden stieg um ein Vielfaches. Somit lässt sich klar sagen, dass die Sehhilfe der Focus-on-Vision Stiftung gut funktioniert und überdurchschnittlich gute Ergebnisse liefert.

Die Focusspec-Brille bietet einen Korrektionsbereich von ca. 3 dpt, jeweils von -2 bis -5 dpt bzw. 1,75 bis 4 dpt. Innerhalb dieses Bereiches sind für Myope durchschnittliche Steigerungen um den Faktor 3, für Hyperope ebenfalls um den Faktor 3 möglich. Außerhalb der Grenzen des Korrektionsbereiches sind über alle Altersklassen und Fehlsichtigkeiten gesehen durchschnittliche Verbesserungen um den Faktor 2 im Bereich des Möglichen, wobei die Myopen eine deutlichere Visussteigerung wahrnehmen. Die größtmögliche Steigerung erlebten Probanden zwischen 20 und 50 Jahren, hier lag die durchschnittliche Verbesserung bei einem Faktor von 4, abhängig von der vorhandenen Fehlsichtigkeit.

Was den zylindrischen Anteil der Fehlsichtigkeiten angeht, so beschränkt sich die Focusspec-Brille lediglich auf die Korrektion des BSG. Die exakten Zylinder bzw. deren Achslagen sind nicht einstellbar, was jedoch bei den meisten vorkommenden Fehlsichtigkeiten nicht weiter ins Gewicht fällt.

Die Focusspec-Brille wird jedoch hauptsächlich auf die Verwendung in Entwicklungsländern beschränkt bleiben. Das liegt überwiegend daran, dass die Qualität der Focusspec-Brille, sei es im Bereich der Gläser oder der Fassung, bei weitem nicht an die der in Industrienationen verwendeten Korrektionsbrillen heran reicht. Die Gläser waren nach einigen Einstellvorgängen bereits verkratzt und der Einstellmechanismus wurde im Laufe der Untersuchung immer schwergängiger.

Über einen Einsatz in Entwicklungsländern hinaus bieten sich natürlich auch Einsatzmöglichkeiten in entwickelten Ländern. Hier wären beispielsweise in der

Verwendung als Übergangssehhilfe nach Katarakt-Operationen oder als Notfallbrille im Auto mögliche Verwendungsgebiete der Focusspec-Brille.

Eine generelle Verbesserung wäre eine kombinierte Focusspec-Brille aus Minus- bzw. Plusgläsern. Es hat sich gezeigt, dass einige Probanden mit Anisometropien keine Verbesserung mit der Focusspec-Brille erreichten. Mit einer Fassung die kombinierte Gläser enthält, wäre eine Versorgung dieser Gruppe ebenfalls möglich, wobei hier darauf geachtet werden muss, dass das jeweilige Auge mit den entsprechenden Gläsern versorgt wird.

Ein weiterer Nachteil ist die optische Qualität der Gläser. Aus Kostengründen sowie produktionstechnischen Gründen lassen sich nur bestimmte Kunststoffe zur Fertigung der Linsen verwenden. Diese haben jedoch aus optischen Gesichtspunkten Nachteile wie z.B. Verzeichnungen oder geringe Brechzahlen. Monokular kann man sich teilweise an solche Unschärfebereiche gewöhnen, beim binokularen Sehen treten hierdurch oftmals Probleme auf.

Hauptsächlich junge Probanden der Untersuchung klagten über ein nicht zufriedenstellendes Binokularsehen beim Tragen der Focusspec-Brille.

Die resultierenden Probleme im Binokularsehen bzw. beim Tragekomfort liegen unter anderem an der nicht optimalen Passform der Brille. Dadurch, dass die Brille für den Europäer nicht optimal vor dem Auge positioniert werden kann, schauen die Träger durch Randbereiche der Linsen. Hier kann kein scharfes Sehen gewährleistet werden. Gründe für das Design liegen im Konzept der Brille die für Menschen in Entwicklungsländern bestimmt ist und auf Grund anatomischer Unterschiede keinen guten Sitz auf europäischen Nasen gewährleistet.

6 Fazit

Nach eingehender Betrachtung der Ergebnisse und Diskussion stellt sich also die Frage wie sinnvoll eine solche Sehhilfe ist und für wen sie eine interessante Alternative darstellt.

Die Focusspec-Brille ist für ihren geplanten Einsatzort absolut zweckmäßig. Sie ist leicht einzustellen, durch den verwendeten Kunststoff stabil gefertigt und funktioniert aus optischen Gesichtspunkten zufriedenstellend bis überdurchschnittlich gut.

Für den Einsatz in bedürftigen Entwicklungsländern ist die Brille also die ideale Lösung für fehlsichtige Menschen, da deutliche Verbesserungen in der Sehschärfe erzielt werden können. Anisometropien können jedoch nicht korrigiert werden.

Das Konzept an sich könnte durch die bereits diskutierten Verbesserungen im Wesentlichen so optimiert werden, dass sich neue Einsatzgebiete erschließen lassen. Es wäre beispielsweise eine Verwendung als Notfallbrille im Auto oder nach Katarakt-Operationen denkbar. Hier braucht das Auge eine gewisse Zeit bis sich die Sehstärke manifestiert hat. In dieser Übergangszeit könnte scharfes Sehen mit der Focusspec-Brille sichergestellt werden.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Focusspec-Brille ein ausgereiftes Produkt für den Einsatz in Entwicklungsländern ist und das Potential birgt auch über diesen Einsatzzweck hinaus Teil unseres alltäglichen Lebens zu werden.

Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung einer Alvarez-Linse, vergrößert; [2], bearbeitet	3
Abb. 2: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus zwei Alvarez-Linsen, vergrößert; [2], bearbeitet	5
Abb. 3: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus zwei Alvarez-Linsen, seitlich, vergrößert; Schnitt ~4~ aus Abb. 2; [2], bearbeitet	6
Abb. 4: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus Alvarez-Linsen in verschobener Position, seitlich, vergrößert; [2], bearbeitet	7
Abb. 5: Schematische Darstellung eines Brillenglases mit Alvarez-Linsensystem, seitlich, vergrößert; [2], bearbeitet	9
Abb. 6: Schematische Darstellung einer Humphrey-Linse, vergrößert; [7], bearbeitet	11
Abb. 7: Schematische Darstellung eines Linsensystems aus Humphrey-Linsen, vergrößert; [7], bearbeitet	12
Abb. 8: Linsenpaar Focusspec-Brille, rechtes Auge, Variante für Hyperope	14
Abb. 9: Fassung Focusspec-Brille mit Linsen	15
Abb. 10: Fassung Focusspec-Brille	16
Abb. 11: Focusspec-Brille, Einstellmechanismus	17
Abb. 12: Focusspec-Brille, Einstellmechanismus Auslenkung unten	17
Abb. 13: Focusspec-Brille, Einstellmechanismus Auslenkung oben	18
Abb. 14: Focusspec-Brille, Verschiebung der Linsen, Auslenkung oben	18
Abb. 15: Focusspec-Brille, Verschiebung der Linsen, Auslenkung unten	19
Abb. 16: Messanordnung, schematische Darstellung	20
Abb. 17: Altersverteilung der Probandengruppe	21

Abb. 18: Altersverteilung Entwicklungsländer; [13].....	24
Abb. 19: Altersverteilung Industrienationen; [13]	25
Abb. 20: Vergleich der 15-64-jährigen mit den über 65-jährigen; [13]	26
Abb. 21: Visusvergleich in Abhängigkeit vom Alter.....	27
Abb. 22: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen Vsc und Vcc Focusspec, monokular	28
Abb. 23: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen Vsc und Vcc Refraktion, monokular	29
Abb. 24: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen Vcc Focusspec und Vcc Refraktion, monokular	30
Abb. 25: Visusvergleich Vsc und Vcc Focusspec, binokular	31
Abb. 26: Visusvergleich Vsc und Vcc Refraktion, binokular	32
Abb. 27: Visusvergleich Vcc Focusspec und Vcc Refraktion, binokular	33
Abb. 28: Verteilung der Ametropien	34
Abb. 29: Häufigkeitsverteilung Sphäre.....	38
Abb. 30: Häufigkeitsverteilung Zylinder.....	39
Abb. 31: Visusverteilung, Vergleich der Sehhilfen	41
Abb. 32: Visusvergleich innerhalb des Korrektionsbereiches, Version für Myope, monokular....	44
Abb. 33: Visusvergleich innerhalb des Korrektionsbereiches, Version für Hyperope, monokular	45

Alle Abbildungen sind selbst erstellt, Ausnahmen sind durch eine Quellennummer in eckigen Klammern gekennzeichnet, die das entsprechende Werk im Literaturverzeichnis beschreibt.

6.2 Tabellenverzeichnis

Tb. 1: Vergleich der Mittelwerte der Visi und deren Steigerungen, monokular	35
Tb. 2: Mittelwerte der Visi und deren Steigerungen, binokular	36
Tb. 3: Korrektionsbereich Focusspec-Brille für Myope	43
Tb. 4: Korrektionsbereich Focusspec-Brille für Hyperope	43

6.3 Formelverzeichnis

Formel 1: Dicke an einem bestimmten Punkt	4
Formel 2: Dicke der ersten Alvarez-Linse an einem bestimmten Punkt vor der Verschiebung	6
Formel 3: Dicke der zweiten Alvarez-Linse an einem bestimmten Punkt vor der Verschiebung	7
Formel 4: Dicke der ersten Alvarez-Linse des Linsensystems an bestimmtem Punkt nach der Verschiebung	8
Formel 5: Dicke der zweiten Alvarez-Linse des Linsensystems an bestimmtem Punkt nach der Verschiebung	8
Formel 6: Dicke des Linsensystems nach der Verschiebung an einem bestimmten Punkt	8
Formel 7: Berechnung des BSG	40

6.4 Abkürzungsverzeichnis

Abb. = Abbildung

abzgl. = abzüglich

Aufl. = Auflage

BSG = bestes sphärisches Glas

bzw. = beziehungsweise

ca. = circa

dpt. = Dioptrie

erw. = erweiterte

ggü. = gegenüber

Hrsg. = Herausgeber

Kap. = Kapitel

Tbb. = Tabelle

Vgl. = Vergleiche

Vsc = Visus sine correctione (Visus ohne Korrektion)

Vcc = Visus cum correctione (Visus mit Korrektion)

z.B. = zum Beispiel

6.5 Literaturverzeichnis

- [1] Alvarez, Luis W. (1978): Development of variable-focus lenses and a new refractor. In: Journal of the American Optometric Association, Jg. 49, H. 1, S. 24–29.
- [2] Alvarez, Luis W.; Humphrey, William E. (1967): Two-element variable-power spherical lens. Angemeldet durch Alvarez, Luis W.; Humphrey, William E. Anmeldenummer: US3305294. Veröffentlichungsnummer: 3,305,294.
- [3] Alvarez, Luis W.; Humphrey, William E. (1970): Variable-power lens and system. Angemeldet durch Alvarez, Luis W.; Humphrey, William E. Anmeldenummer: US3507565. Veröffentlichungsnummer: 3,507,565.

-
- [4] Barbero, Sergio (2009): The Alvarez and Lohman refractive lens revisited. In: Optics Express, Jg. 17, H. 11.
 - [5] Diepes, Heinz (1975): Refraktionsbestimmung. 2. Aufl. Pforzheim: Verlag Heinz Postenrieder.
 - [6] Efron, Nathan (1981): Instrument Review: The Humphrey Vision Analyser. In: The Australian Journal of Optometry, Jg. 64, H. 4, S. 149–153.
 - [7] Humphrey, William E. (1973): Variable anamorphic lens and method for constructing lens. Angemeldet durch Humphrey, William E. Anmeldenummer: US3751138. Veröffentlichungsnummer: 3,751,138.
 - [8] Humphrey, William E. (1974): Optometric apparatus and process having independent astigmatic and spherical inputs. Angemeldet durch Humphrey, William E. Anmeldenummer: US3822932. Veröffentlichungsnummer: 3,822,932.
 - [9] Humphrey, William E. (1977): Automatic retinoscopy: The Humphrey Vision Analyser. A remote subjective refractor employing continuously variable sphere-cylinder corrections. In: The Optician, Jg. 173, S. 17–27.
 - [10] Kratz, Leslie D.; Flom, Merton C. (1977): The Humphrey Vision Analyzer: Reliability and Validity of Refractive-Error Measures. In: American Journal of Optometry & Physiological Optics, Jg. 54, H. 10, S. 653–659.
 - [11] Rouwé, Berber (2009): nrc.nl - International - Features - Faces light up behind self-adjustable glasses. Online verfügbar unter http://vorige.nrc.nl/international/Features/article2361723.ece/Faces_light_up_behind_self-adjustable_glasses, zuletzt geprüft am 21.12.2010.
 - [12] Wong, Edward K.; Myers, Steven M. (1984): Clinical Evaluation of the Humphrey Automatic Refractor. In: Archives of Ophthalmology, Jg. 102, S. 870–875, zuletzt geprüft am 21.12.2010.
 - [13] World Population Ageing 2009 (2010). United Nations; Department of Economic and Social Affairs; Population Division, zuletzt aktualisiert am 18.10.2010, zuletzt geprüft am 10.03.2011.

6.6 Danksagung

Ich möchte mich auf diesem Wege recht herzlich bei verschiedenen Personen und Institutionen bedanken ohne die diese Bachelorthesis nicht realisierbar gewesen wäre.

- Frau Prof. Dr. Ulrike Paffrath für die hervorragende und richtungsweisende Betreuung meiner Bachelorarbeit
- Herr Dr. Angele für die Idee und dem zur Verfügung stellen seiner Praxisräume zur Durchführung der Messungen
- Focus-on-Vision für das zur Verfügung stellen der Focusspec-Brillen und besonders Herrn Jan in't Veld für die freundliche Unterstützung
- Meinen Eltern Birgit und Hans Schott für die finanzielle und weitergehende Unterstützung während meines Studiums sowie meinem Großvater Willi Dahmen für ein allzeit offenes Ohr.

6.7 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift